Handbuch für wen?

Mit dem vorliegenden Handbuch wenden wir uns an alle, die mit der Entwicklung, Konstruktion und mit dem Vertrieb von Repro-Kameras zu tun haben. Zusätzlich kann es auch von Anwendern, also Reproanstalten, Zeichenbüros usw. als Informationsquelle genutzt werden.

This handbook

is addressed to all who are involved in the development, design and distribution of process cameras. It can also serve as a user reference for process houses, graphic arts establishments, drafting offices etc.

Inhalt

Contents

Optische Werke G. Rodenstock

Das Unternehmen
Die Optischen Werke G. Rodenstock sind seit mehr als einem Jahrhundert ein bedeutendes Unternehmen der optisch-feinmechanischen Industrie.
Heute gliedert sich der Konzern in vier wesentliche Geschäftsbereiche, in denen über 7600 Mitarbeiter einen jährlichen Weltumsatz von etwa 680 Millionen DM erzielen.
Tochtergesellschaften und Vertretungen in allen Teilen der Welt garantieren ein dichtes Kommunikationsnetz zu unseren Kunden.

The G. Rodenstock Optical Works

For over a century the G. Rodenstock Optical Works has been a leading optical and precision engineering manufacturer.
Today Rodenstock comprises four main divisions, employs over 7600 people and has annual world-wide sales of DM 680 million or (at mid-1986 exchange rates) some US $ 325 million.
Subsidiaries and agencies throughout the world maintain close contact with all our customers.

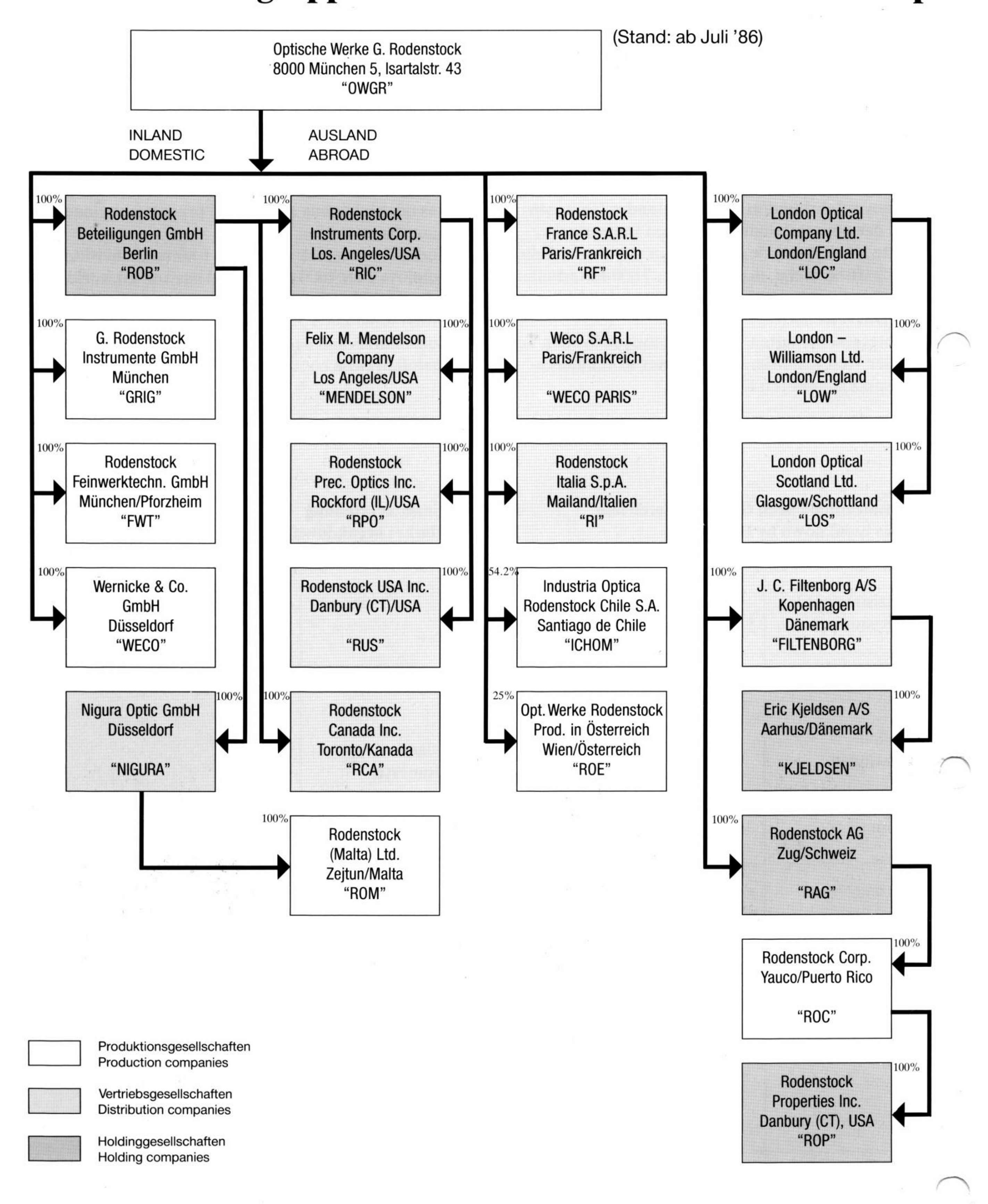
Umsatzanteile nach Geschäftsbereichen 1985
Sales breakdown by Divisions 1985

Division	Share
Präzisionsoptik / Precision optics	13%
Instrumente / Instruments	3%
Brillen-Fassungen / Spectacle frames	31%
Brillen-Gläser / Spectacle lenses	53%

Umsatzverteilung 1985
Market breakdown 1985

Market	Share
Inland / Domestic	60%
Ausland / Export	40%

Unternehmensgruppe Rodenstock / The Rodenstock Group



Der Geschäftsbereich Präzisionsoptik

Die Konstruktion und Fertigung von Objektiven für den Fotomarkt hat bei Rodenstock lange Tradition. Zielsetzung des Unternehmensbereiches Präzisionsoptik ist dabei stets, für die unterschiedlichen Bedürfnisses der Praxis jeweils die bestmögliche Lösung anbieten zu können. Die Objektivpalette reicht derzeit vom Apo-Rodagon für Vergrößerungsgeräte über das Sironar-N für die Großbildfotografie bis zum Apo-Ronar CL, dem wohl berühmtesten Objektiv für die Kameras der Reproduktionstechnik. Auf dieser Grundlage begann schon vor Jahren die Erschließung immer anspruchsvollerer Gebiete der Industrie-Optik. An den spektakulären Entwicklungen der Systeme Compact Disc (CD) und Laser Vision (LV) von Philips ist Rodenstock ebenso mit der Optik beteiligt wie am Satellitenbildsystem MOMS (Modulares, optoelektronisches, multispektrales Satellitenbildaufnahmesystem) von Messerschmitt-Bölkow-Blohm, das bei einer Space-Shuttle-Mission im Weltraum eingesetzt wurde. Aus einer Höhe von 290 km erfaßten die Objektive dabei Flächen von 20 × 20 Metern – das entspricht einem Quadratmillimeter aus 15 Metern Entfernung.

The Precision Optics Division

Rodenstock has a long tradition in photographic lens design and production. The Precision Optics Division aims to offer the best possible solution for every practical need. Current lens products range from Apo-Rodagon enlarging lenses through the Sironar-N systems for view cameras to the famous Apo-Ronar CL series for process cameras.
Years ago we began to extend our activities into more sophisticated industrial optics. The spectacular Philips compact disc (CD) and laser vision (LV) systems employ Rodenstock lenses; so does the Modular Optoelectronic Multispectral Satellite (MOMS) recording setup from Messerschmitt-Bölkow-Blohm, used in a space shuttle mission. Here the lenses covered 20 × 20 m target areas from a 290 km high orbit – equivalent to recording a 1 mm^2 subject field from 15 m away.
In medicine, Rodenstock is a world-wide supplier of optical systems for X-ray image intensifiers. Apertures here reach f/0.75 – almost at the limits of physical optics.

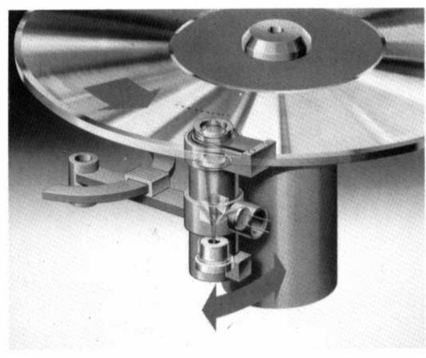


Abb. 1: Optisches Abtastsystem für Compact Discs (CD)

Fig. 1: Optical scanning system for compact disc (CD) players

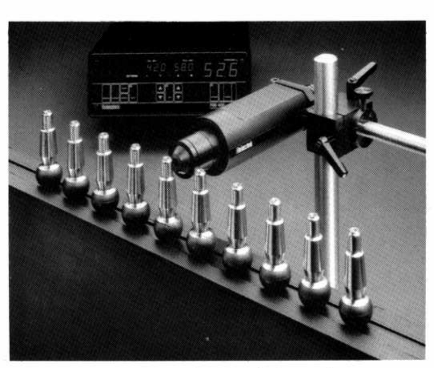


Abb. 2: Das Optische Rauheitsmeßgerät RM 400 revolutioniert die Oberflächenprüfung

Fig. 2: The RM 400 optical surface finish measuring system is revolutionising surface testing

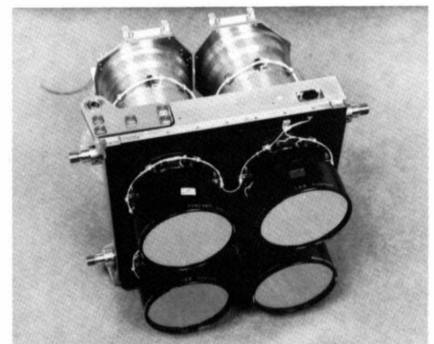


Abb. 3: Vier Rodenstock-Objektive 1:3,5/f = 237 mm für die Scanner-Kamera von Messerschmitt-Bölkow-Blohm

Fig. 3: Four 237 mm f/3.5 Rodenstock lenses for the Messerschmitt-Bölkow-Blohm scanner camera

Für die Medizin zum Einsatz in Röntgenbildverstärkeranlagen liefert Rodenstock optische Systeme an Abnehmer in der ganzen Welt. Diese Objektive haben Öffnungsverhältnisse bis zu 1:0,75 – Werte, die nahe an der physikalischen Grenze liegen. Dadurch kann die Strahlendosis, die auf den Patienten einwirkt, gering gehalten werden.
Diese Beispiele verdeutlichen, daß die Industrie-Optik sich nicht nur auf gefaßte und ungefaßte „Systeme" für alle denkbaren Wirtschaftsbereiche erstreckt, sondern daß daraus oft technische Höchstleistungen entstehen, die richtungsweisend für alle Bereiche der Präzisionsoptik wirken.
Ein neuer großer Entwicklungsschritt, dessen Auswirkungen und Möglichkeiten sich erst abzuzeichnen beginnen, ist die Diversifizierung in die optoelektronische Meßtechnik. So hat Rodenstock hier ein berührungslos arbeitendes Meßsystem entwickelt, das die Rauheit von technischen Oberflächen erfaßt und interpretieren kann. Während das bisher verwendete Verfahren die Prüfoberfläche mit einer feinen Diamantnadel mechanisch abtastet, was lange dauert und deshalb nur für Stichprobenkontrollen geeignet ist, kann das Optische Rauheitsmeßgerät RM 400 direkt in die automatische Fertigung integriert werden und hundertprozentige Kontrollen durchführen.

Industrial optics covers unmounted and mounted lens systems for every conceivable application. Beyond that, it often leads to technological breakthroughs that can revolutionise all areas of precision optics.
A major new development whose implications are only just beginning become clear is opto-electronic metrology. Here Rodenstock has developed a non-contact system to measure and evaluate the surface finish of engineering components. Previous procedures, involving mechanical scanning of the test surface with a diamond stylus, were very slow and therefore suitable only for sampling checks. The RM 400 optical surface finish measuring system can now be installed on-line in automated production lines for 100% quality control.

Programm-Übersicht Rodenstock-Reproduktions-Objektive

Apo-Ronar
Apo-Ronar CL
Apo-Ronar CLM

Apo-Rodagon D

Apo-Gerogon
Apo-Gerogon S
Apo-Graphigon

Rodagon
Apo-Rodagon

Rodagon-G

Rodagon-WA

Programm-Übersicht Rodenstock-Reproduktions-Objektive

Apo-Ronar/Apo-Ronar CL/Apo-Ronar CLM

Bestell-Nr.	Öffnungs-verhältnis	Nominal-brenn-weite	Effektiv-brennweite ± 0,5%	Empfohlene Formate für 1:1 (Blende 22; für Brennweiten ab 760 mm Blende 32)		Max. Bild-win-kel*	Kleinste Blende	Maßstäbe für Ausführung CLM	Bestell-Nr. für Ausführung CLM
Order No.	Maximum aperture	Nominal focal length	Effective focal length ± 0.5%	Recommended copy formats for 1:1 scale at f/22 (at f/32 for focal lengths above 760 mm)		Max. angle of field *	Smallest aperture	Reproduction scales for CLM version	Order No. for CLM version
Apo-Ronar									
306.0150.002.000	1:9	150	150,7	DIN A 5	5″×7″	48°	64	–	
Apo-Ronar CL									
306.0240.006.000	1:9	240	238,3	DIN A 4	10″×12″	48°	90	1:12/1:10	306.0240.006.001
306.0300.006.000	1:9	300	298,3	DIN A 3	12″×16″	48°	90	–	
306.0360.006.000	1:9	360	355,6	40×50 cm	14″×18″	48°	90	1:8	306.0360.006.001
306.0480.006.000	1:9	480	467,3	50×60 cm	18″×24″	48°	90	1:6/1:4	306.0480.006.001
306.0485.006.000	1:9	485	482,9	50×60 cm	20″×24″	45°	90	1:6/1:3	306.0485.006.001
306.0520.006.000	1:9	520	524,2	50×60 cm	20″×24″	42°	90	–	
306.0600.006.000	1:9	600	598,4	60×80 cm	26″×30″	46°	90	1:10/1:6/1:4	306.0600.006.001
306.0760.006.000	1:14	760	763,3	DIN A 1	26″×30″	40°**	128	– /1:2/1:1	
306.0800.006.000	1:9	800	788,2	80×90 cm	28″×36″	42°**	90		
306.0890.006.000	1:14	890	890,7	90×90 cm	30″×40″	40°**	128		
306.1000.006.014	1:14	1000	999,9	100×100 cm	40″×40″	40°**	128		
306.1000.006.000	1:16	1000	998,9	100×100 cm	40″×40″	40°**	128		
306.1070.006.000	1:14	1070	1070,5	DIN A 0	40″×45″	40°**	128		
306.1200.006.014	1:14	1200	1199,8	120×120 cm	40″×50″	40°**	128		
306.1200.006.000	1:16	1200	1200,1	120×120 cm	40″×50″	40°**	128		
306.1800.006.000	1:16	1800	1808	150×200 cm	60″×80″	40°**	128		

* bei Blende 22 ** bei Blende 32
* at f/22 ** at f/32

Apo-Gerogon/Apo-Gerogon S/Apo-Graphigon

Bestell-Nr.	Öffnungs-verhältnis	Nominal-brennweite	Effektiv-brennweite ± 0,5%	Empf (Blen
Order No.	Maximum aperture	Nominal focal length	Effective focal length ± 0.5%	Recon scale
Apo-Gerogon				
351.0150.001.000	1:9	150	150	DIN
351.0210.001.000	1:9	210	208,4	40×5
351.0240.001.000	1:9	240	238,4	40×5
auf Anfrage/On application	1:9	240	238,4	40×5
351.0270.001.000	1:9	270	267	DIN
351.0300.001.000	1:9	300	308,3	50×7
auf Anfrage/On application	1:9	300	308,3	50×7
351.0360.001.000	1:9	360	354,8	60×7
auf Anfrage/On application	1:9	360	354,8	60×7
Apo-Gerogon S				
350.0270.001.000	1:11	270	271,5	50×6
Apo-Graphigon				
352.0240.001.000	1:11	240	242,1	50×6
Blendenhebel für/Aperture lever for				
10301002.011.120	Apo-Gerogon 150, 135			
10301003.014.120	Apo-Gerogon 210, 240, 270			
10301004.005.120	Apo-Gerogon 300, 360 / Apo-Gerogon S 270, Apo			

Apo-Rodagon D

Bestell-Nr.	Öffnungs-verhältnis	Nominal-brennweite	Effektiv-brennweite ± 0,5%	Empfohlene Formate für 1:1 (Blende 8)		Max. Bild-winkel	Kleinste Blende
Order No.	Maximum aperture	Nominal focal length	Effective focal length ± 0.5%	Recommended copy formats for 1:1 scale at f/8		Max. angle of field	Smallest aperture
Apo-Rodagon D							
auf Anfrage/On application	1:4	75	74,7	6×7 cm	2¼×2¾	30°	22

Rodagon-WA

Bestell-Nr.	Öffnungs-verhältnis	Nominal-brennweite	Effektiv-brennweite ± 1%	Empf
Order No.	Maximum aperture	Nominal focal length	Effective focal length ± 1%	Recon
Rodagon-WA				
277.0040.001.000	1:4,0	40	40,4	24×3
277.0060.001.000	1:4,0	60	61,4	6×6
277.0080.001.000	1:4,0	80	82,6	6×9
277.0120.001.000	1:5,6	120	120,5	9×12

phigon

tiv- weite %	Empfohlene Formate für 1:1 (Blende 22)		Max. Bild- winkel	Kleinste Blende
ive length %	Recommended copy formats for 1:1 scale at f/22		Max. angle of field	Smallest aperture
	DIN A 4	10″×12″	70°	64
	40×50 cm	16″×20″	78°	64
	40×50 cm	16″×20″	70°	90
	40×50 cm	16″×20″	70°	64
	DIN A 2	18″×22″	70°	64
	50×70 cm	22″×26″	72°	90
	50×70 cm	22″×26″	72°	64
	60×70 cm	24″×30″	70°	90
	60×70 cm	24″×30″	70°	90
	50×60 cm	20″×24″	75°	90
	50×60 cm	18″×24″	78°	90

gon S 270, Apo-Graphigon 240

tiv- weite	Empfohlene Formate		Max. Bild- winkel	Kleinste Blende
ive ength	Recommended copy formats		Max. angle of fild	Smallest aperture
	24×36 mm		60°	22
	6×6 cm	2¼″×2¼″	62°	22
	6×9 cm	2½″×3½″	62°	22
	9×12 cm	4″×5″	62°	32

Rodagon/Apo-Rodagon

Bestell-Nr.	Öffnungs- verhältnis	Nominal- brennweite	Effektiv- brennweite ± 0,5%	Empfohlene Formate		Max. Bild- winkel	Kleinste Blende
Order No.	Maximum aperture	Nominal focal length	Effective focal length ± 0.5%	Recommended copy formats		Max. angle of field	Smallest aperture
Rodagon							
270.0028.001.000	1:4,0	28	27,6	18×24 mm		60°	16
270.0035.001.000	1:4,0	35	35	24×24 mm		60°	16
270.0051.001.000	1:2,8	50	50,1	24×36 mm		46°	16
270.0050.001.000	1:4,0	50	50,1	24×36 mm		46°	16
270.0060.001.000	1:4,0	60	61,8	4×4 cm		52°	22
270.0081.001.000	1:4,0	80	81,0	6×7 cm	2¼″×2¾″	56°	22
270.0080.001.000	1:5,6	80	81,0	6×7 cm	2¼″×2¾″	56°	22
271.0105.001.000	1:5,6	105	106,4	6×9 cm	2¼″×3½″	52°	32
271.0135.001.000	1:5,6	135	135,7	9×12 cm	4″×5″	56°	32
271.0150.001.000	1:5,6	150	150,3	9×12 cm	4″×5″	52°	45
271.0180.001.000	1:5,6	180	182,5	13×18 cm	5″×7″	56°	45
271.0210.001.000	1:5,6	210	206,5	13×18 cm	5″×7″	52°	45
271.0240.001.000	1:5,6	240	237,9	18×24 cm	8″×10″	56°	45
271.0300.001.000	1:5,6	300	291,5	18×24 cm	8″×10″	56°	45
271.0360.001.000	1:6,3	360	347,3	24×30 cm	10″×12″	56°	45
Apo-Rodagon							
275.0050.001.000	1:2,8	50	50,2	24×36 mm		46°	16
275.0080.001.000	1:4,0	80	82,6	6×7 cm	2½″×2¾″	56°	22
275.0180.001.000	1:4,8	180	180,3	9×12 cm	4″×5″	46°	32

Rodagon-G

Bestell-Nr.	Öffnungs- verhältnis	Nominal- brennweite	Effektiv- brennweite ± 0,5%	Empfohlene Formate		Max. Bild- winkel	Kleinste Blende
Order No.	Maximum aperture	Nominal focal length	Effective focal length ± 0.5%	Recommended copy formats		Max. angle of field	Smallest aperture
Rodagon-G							
276.0050.001.000	1:2,8	50	52,1	24×36 mm		43°	16
276.0105.001.000	1:5,6	105	104,2	6,5×9 cm	2½×3½″	52°	45
276.0150.001.000	1:5,6	150	146,6	9×12 cm	4″×5″	56°	45
276.0210.001.000	1:5,6	210	206,9	13×18 cm	5″×7″	54°	45
276.0240.001.000	1:5,6	240	239,9	13×18 cm	5″×7″	52°	45
276.0300.001.000	1:5,6	300	291,7	18×24 cm	8″×10″	56°	45
276.0360.001.000	1:6,8	360	347,3	18×24 cm	8″×10″	54°	45
276.0480.001.000	1:8,4	480	467,3	24×30 cm	10″×12″	52°	64

Das Umfeld der Reproduktion

Die Abhängigkeit zwischen Objektiv und Kamera
Für die Reproduktion von Vorlagen verwendet der Reprograf drei verschiedene Kameratypen:
die Horizontalkamera
die Auto-Vertikalkamera
die Kompaktkamera.
Unabhängig vom Kameratyp wird die Güte der Reproduktionen von der exakten Parallelität von Objektivstandarte, Vorlagenhalterung und Filmebene mitbestimmt.
Die präzise Scharfstellung, die Qualität der Farbfilter und die Ebenheit evtl. verwendeter Umkehrspiegel sind weitere wesentliche Parameter.

Wodurch unterscheiden sich die Kameragrundtypen in ihrer Funktion, und welche Objektive sind typisch für die eine oder andere Bauweise?

Zunächst die **Horizontalkamera,** ein Gerät das entweder auf einer langen, horizontalen optischen Bank installiert ist oder an einer Brücke hängt. Die Vorlagenhalterung, das Objektiv und der Film sind parallel zueinander und senkrecht zur Bank angeordnet. Der Abstand zwischen Vorlage und Objektiv kann beliebig verändert werden, wobei die Steuerung motorisch erfolgt. Die Schärfe wird auf der Mattscheibe mit dem Auge kontrolliert und vom Reprofotografen eingestellt. Sehr große Filmformate und Spezialaufgaben wie kartographische Aufnahmen, Herstellung gedruckter Schaltungen oder Weiterverarbeitung von Scannerauszügen sind typische Einsatzgebiete dieses Kameratyps. Neben langer Brennweite (die derzeit längste ist 1800 mm) muß das hierfür in Frage kommende Objektiv ein Höchstmaß an Qualität aufweisen. Kriterien, die das Apo-Ronar CL erfüllt.
Beim zweiten Kameratyp, der **Auto-Vertikalkamera,** ist die optische Achse rechtwinklig geknickt. Die Vorlagenhalterung ist ein horizontaler Tisch, der in der Höhe verstellt werden kann. Darüber befindet sich am Einstellbalgen das Objektiv mit vorgesetztem Spiegel, der die Strahlung auf die senkrecht stehende Mattscheibe umlenkt. Diese Anordnung bietet größeren Komfort in der Handhabung. Zum Einsatz kommen hier vorwiegend Apo-Ronar CL bis

Process photography considerations

Lens and camera factors
Three camera types are used in process photography:
Horizontal or gallery cameras
Vertical cameras
Compact cameras
Irrespective of the camera configuration, exact parallel alignment of the lens plane, copy holder and film plane is vital for reproduction quality.
Precise focusing, colour filter quality and the flatness of any reversing mirror used are also important.

Camera types and suitable lenses

Horizontal cameras are mounted either on a long optical bench or suspended from an overhead rail or gallery. The copy holder, lens and film planes are parallel to each other and at right angles to the optical bench. The original-to-lens distance is freely adjustable – usually by motor drives – and the process photographer focuses the camera by visual observation of the image on a ground glass screen. Typically such cameras are used for very large film sizes and special applications such as maps, producing printed circuits or handling scanner separations. Lenses for such cameras need long focal lengths (the longest at present is 1800 mm) and topmost quality. The Apo-Ronar CL meets all these requirements.
The vertical camera has its optical axis folded through 90°. The copy holder is a horizontal easel of adjustable level. Above it is mounted the lens and bellows system with a mirror in front of the lens deflecting the light rays onto the vertically mounted focusing screen. This layout is more convenient in operation. Preferred lenses are Apo-Ronar CL systems of focal lengths up to 800 mm. Like a horizontal camera, the vertical camera is set up in two rooms to allow film insertion in a darkroom.
The third type, the **compact camera,** uses a fully vertical layout. The copy holder, lens and ground glass screen are arranged above each other, with electronic control of reproduction scale, focusing and exposure. Its compact layout and simple operation make this camera type popular in advertising agencies, drawing offices and for other applications where originals need only occasional enlargement or reduc-

800 mm Brennweite. Sowohl die Auto-Vertikal- als auch die Horizontalkamera stehen oft in zwei getrennten Räumen. Der Film wird im Dunkeln eingelegt. Der dritte Typ, die **Kompaktkamera,** hat eine vertikale optische Achse. Vorlagenhalterung, Objektiv und Mattscheibe sind übereinander angeordnet. Der Abbildungsmaßstab, die Scharfstellung und Belichtung werden elektronisch gesteuert. Die kompakte Bauweise und einfache Handhabung ermöglichen auch Anwendern wie Werbestudios und Zeichenbüros, die nur gelegentlich Vorlagen vergrößern und verkleinern müssen, hervorragende Ergebnisse. Um auch bei kleinen Baulängen Formate bis etwa 50 × 60 cm zu bewältigen, hat Rodenstock Objektive mit großem Bildwinkel entwickelt. Das wohl bekannteste Weitwinkelobjektiv dafür ist das Apo-Gerogon.

Material und Verarbeitung

Neben Kamera und Objektiv beeinflussen Filmmaterial und Verarbeitung erheblich das Ergebnis der Reproduktion. Der verstärkte Einsatz preiswerter Filmsorten (Line-Film für Lith-Aufgaben), verbunden mit dem Wunsch eine entsprechende Kontrastwiedergabe zu erzielen, führte zu immer höheren Anforderungen an das Objektiv. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zusammenhänge auf.

Film	Entwicklung	Anforderung an die Kontrastübertragung
Lithfilm	Lithentwicklung	normal
Linefilm	Lithentwicklung	etwas höher
Direktpositiv-Film	Lithentwicklung	etwas höher
Linefilm	Lineentwicklung	hoch
Diffusionsverfahren	Aktivator-entwicklung	sehr hoch
Direktpositiv-Film	Lineentwicklung	sehr hoch

Das mögliche Ergebnis hängt also entscheidend von der Kontrastübertragung unter Berücksichtigung aller Parameter ab. Von guten Reproduktionsaufnahmen wird eine gleichmäßige Schärfe von der Mitte bis zum Bildrand verlangt.
Ideal wäre eine verlustfreie Übertragung des vorhandenen Kontrastes der Vorlage auf den Film. Das Ergebnis ist also dann am besten, wenn der in der Abbildung erzielte Kontrast dem in der Vorlage vorhandenen möglichst nahe kommt.

tion. To handle sizes up to 50 × 60 cm with comparatively short overall length Rodenstock has developed lenses of increased angle of field. The best-known of these wide-angle lenses is the Apo-Gerogon.

Materials and processing

Apart from the camera and lens, the film and development significantly affect process results, too. The growing use of lower-cost films (line film for lith jobs) and the need for optimum contrast transfer make increasing demands on lens performance. The table below illustrates this:

Film type	Processing	Contrast transfer requirement
Lith film	Lith developer	Normal
Line film	Lith developer	Slightly higher
Direct positive film	Lith developer	Slightly higher
Line film	Line developer	High
Diffusion transfer	Activator processing	Very high
Direct positive film	Line developer	Very high

In view of these factors, the results obtainable depend therefore greatly on contrast transfer. Good process exposures must show even definition from the centre to the edges.
The ideal case would be contrast transfer from the original to the film with no contrast loss. Results are therefore best when image contrast most closely approaches the original contrast.
Contrast transfer becomes more difficult, the closer the spacing of black and white elements in the original, i.e. the higher the spatial frequency (line pairs/mm). This applies especially to halftone projection which makes the highest quality demands on a lens. Relevant is here the fineness of the lines and of the halftone dots. Hence the 5% and the 95% dot of a 60 line/cm (150 line/in.) screen are the most difficult to reproduce well.
In practice we have to know the minimum contrast transfer required to cope with a particular job, e.g. halftone projection. Tests have shown that for satisfactory reproduction of a 60 line/cm halftone, the contrast in the image plane must reach at least 50% of the original contrast.

Die Übertragung des Kontrastes wird um so schwieriger, je dichter in der Vorlage schwarze und weiße Elemente nebeneinander liegen, also je höher die Ortsfrequenz ist (Linienpaare pro mm). Das trifft vor allem auf Rasterprojektionen zu. Die Anforderungen an die Qualität der Objektive erreichen hierbei den Höhepunkt. Die Feinheit der Linien und die Punktgröße sind zu beachten. So dürften ein 5%iger und 95%iger Rastertonwert eines 60 Linien-Rasters die höchsten Schwierigkeitsgrade darstellen.

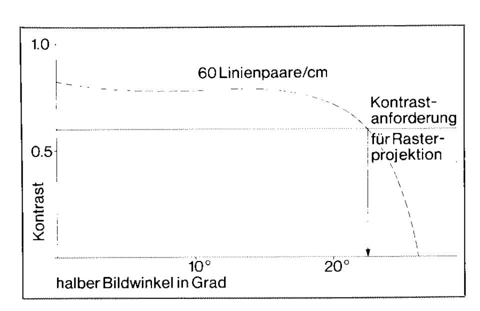


Abb. 1 Bildkontrast und Mindestkontrast für Rasterprojektion

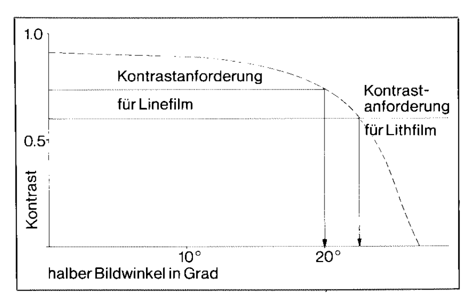


Abb. 2 Bildkontrast und Kontrastanforderung für Linefilm und Lithfilm

Für die praktische Arbeit ist es wichtig zu wissen, wie hoch die Kontrastübertragung mindestens sein muß, um eine bestimmte Aufgabe (z. B. Rasterprojektion) zu lösen. Versuche haben gezeigt, daß z. B. bei der Wiedergabe eines 60 Linien-Rasters der Kontrast in der Bildebene noch mehr als 50% des Vorlagenkontrastes betragen muß.
Der Schnittpunkt der Kurve 60 Linienpaare/cm im Bild 1 gibt den Bildwinkel an, für den diese Rasterauflösung erreicht wird. Der eingezeichnete Kontrastwert von etwas mehr als 0,6 gilt jedoch nur für lithentwickelte Filme mit supersteiler Gradation. Bei Verwendung von Strichfilmen (Linefilme), s. Bild 2, oder hochempfindlichen Direktpositivmaterialien mit flach entwickelter Gradation wird der ausgezeichnete Bildwinkel deutlich kleiner.

The points where the curve for 60 line pairs/mm intersects the required contrast transfer levels in Fig. 1 indicates the maximum angle of field that still yields this screen resolution. The contrast level marked at 0.6 however holds only for extreme-contrast films with lith develiopment. With line films as in Fig. 2, or with high-speed direct positive materials and softer development, the angle of field available is noticeably reduced.

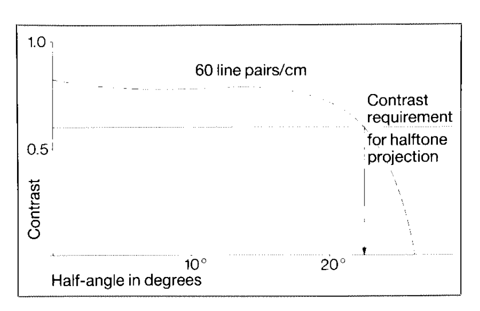


Fig. 1: Image contrast and contrast requirement for line film and lith film

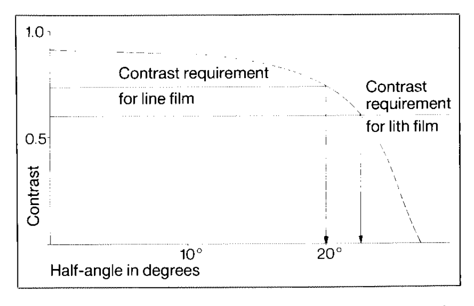


Fig. 2: Image contrast and minimum contrast for halftone projection

Merkmale eines Reproduktions-Objektives

Objektivaufbau
Der Aufbau von optischen Systemen ist entweder symmetrisch oder asymmetrisch.
Symmetrisch bedeutet, daß beide Objektivhälften spiegelbildlich zur Blendenebene angeordnet sind, asymmetrisch, daß die Anordnung zur Blendenebene unterschiedlich ist. Die Entscheidung, welche Version verwendet wird, hängt wesentlich vom Maßstab ab mit dem gearbeitet werden soll. Die höchste Qualität der asymmetrischen Reproduktions-Objektive wird bei Maßstäben erreicht, die von 1:1 abweichen. Diese Typen sind also für definierte Anwendungsbereiche optimiert.
Ganz anders verhalten sich Objektive mit symmetrischem Aufbau. Mit dieser Anordnung werden Bildfehler wie Koma, Farbquerfehler und Verzeichnung bei Maßstab 1:1 automatisch behoben. Bei Abweichung vom Maßstab 1:1 verändert sich die Qualität nur langsam.

Rodenstock Objektive mit kleinem Bildwinkel (Apo-Ronar CL) erzielen aufgrund ihrer Maßstabsunempfindlichkeit hervorragende Resultate bis ∞. Weitwinkelobjektive sind je nach Typ von ⅕–3fach bzw. von ⅕–5fach zu empfehlen.
Ein wesentlicher Vorteil der symmetrischen Konstruktion ist, daß beim Wechsel zwischen Verkleinerung und Vergrößerung das Objektiv nicht umgedreht werden muß. So ist es gleichgültig, ob z. B. 1:3 (33%) oder 3:1 (300%) der Originalgröße abgebildet werden.

Öffnungsverhältnis
Die Vorzüge hoher Anfangsöffnungen von Objektiven sind aus der Kleinbildfotografie bekannt. Verständlich ist, daß auch der Reprofotograf sich beim Fokussieren ein möglichst helles Mattscheibenbild wünscht. Je nach Objektivtyp und Abbildungsart klafft jedoch hinsichtlich der Öffnungsverhältnisse zwischen Kleinbild und Repro-Objektiv eine große Lücke. Hierfür gibt es mehrere Gründe. So ist es nicht mit vertretbarem Aufwand möglich, ein hochkorrigiertes Repro-Objektiv mit einem für die Reproduktion ausreichenden Bildwinkel herzustellen, das gleichzeitig eine hohe Anfangsöffnung aufweist. Ein weiterer Punkt ist die Baugröße. Der

Process lens characteristics

Lens configuration
Lens systems may be symmetrical or unsymmetrical in layout. In a symmetrical system the two halves of the lens to each side of the iris diaphragm are more or less mirror images of each other; unsymmetrical systems have substantially different front and rear halves. The choice of the design depends to a large extent on the reproduction scale required. Asymmetrical process lenses yield their highest image quality at reproduction scales other than 1:1; lenses of this type can therefore be optimised for specific applications.
The situation is different with symmetrical lens designs. At 1:1 reproduction these automatically correct aberrations such as coma, lateral chromatic aberration and distortion. Image quality deteriorates only slowly even at other reproduction scales.

Rodenstock lenses with a narrow angle of field (Apo-Ronar CL) are comparatively unaffected by changes in scale and therefore yield excellent results through to infinity. Depending on type, wide-angle lenses are recommended for scales between 1/5 and 3:1 or 1/5 and 5:1.
An important symmetrical system advantage is that there is no need to reverse the lens when switching from reduction to magnification. Thus image quality is the same at a 1:3 scale (33%) or at 3:1 (300%).

Maximum aperture

The advantages of high-speed lenses are familiar from 35 mm camera use. Obviously the process camera operator also prefers a brightest possible screen image for focusing. However, process lenses are substantially slower than 35 mm camera lenses – some lens types extremely slow. There are several reasons for this. One is the disproportionate effort that required to of produce a highly corrected lens with an adequate angle of field for process work and at the same time a large maximum aperture. Secondly, such a lens would be gigantic. The front lens diameter must be at least as large as the entrance pupil:

Durchmesser der Frontlinse ist mindestens so groß wie die Eintrittspupille

$$(\text{Pupille} = \frac{\text{Brennweite}}{\text{Blendenzahl}})$$

Ein 360 mm-Objektiv mit einer Öffnung von 1:2,8 hätte folglich einen Frontlinsendurchmesser von mindestens 130 mm. Ein 1000er käme gar auf 360 mm.
Abschließend ist noch die Schärfentiefe zu beachten. Da große Öffnungen mit geringer Schärfentiefe korrelieren, wären die Anforderungen an Justierung von Vorlagenhalterung, Objektivstandarte und Filmhalterung in der Kamera nicht zu erfüllen.
Selbst bei kleinen Öffnungen handelt es sich bei den Toleranzen nur um zehntel Millimeter. Setzt man die gleiche Güte der Abbildung bei großer Öffnung voraus, wären die Anforderungen an die Baugenauigkeit noch höher.

Farbkorrektion

Art und Auswirkung von Farbfehlern lassen sich am Beispiel der Abbildung mit einer Einzellinse verdeutlichen, die ja naturgemäß über keine Farbkorrektion verfügt.
Bildet man mit einer solchen Linse ein Flächenelement auf der optischen Achse ab, so liegen seine Bilder, nach Wellenlängen gestaffelt, längs der optischen Achse. Diese Erscheinung wird Farblängsfehler genannt. Das blaue Bild liegt der Linse am nächsten, das rote am weitesten von ihr entfernt. Der Betrag des Farblängsfehlers, das ist der Abstand zwischen dem blauen und dem roten Bild, würde bei Abbildung eines ∞ entfernten Objektes mit einer Linse aus Kronglas (BK7) etwas mehr als 2% der Brennweite ausmachen, bei einer Linse aus Flintglas (F2) mehr als 4%. Krongläser haben geringe, Flintgläser hohe Dispersion.
Auch die Brennweite der Linse und damit die Bildgröße ändert sich mit der Wellenlänge. Man bezeichnet diese Erscheinung Farbvergrößerungsfehler. Am kürzesten ist die Brennweite für blaues Licht, am längsten für rotes. Das rote Bild ist deshalb größer als das blaue. Die relativen Unterschiede der Bildgröße wären im oben gewählten Beispiel wieder ca. 2% oder ca. 4%.
Schließlich tritt bei der Abbildung achsferner Objektpunkte noch der Farbquerfehler auf. Er läßt sich durch wellenlängenabhängige Brechung des vom Objektpunkt auf die Linsenmitte zielenden Strahls („Hauptstrahl") erklären. Der kurzwellige Hauptstrahl wird durch die Linse stärker, der langwellige schwächer gebrochen. Der Durchstoßpunkt des

$$\text{Pupil dia.} = \frac{\text{(focal length)}}{\text{(f-number)}}$$

Hence a 360 mm f/2.8 lens would need a front lens diameter of 130 mm or over 5 in. A 1000 mm lens would be nearly 15 in. across!
A final factor is depth of field. As large apertures involve limited depth of field, the camera might not be able to meet precision requirements for the alignment of the copy holder, lens standard and film back.
Even at small apertures the focusing tolerance is a fraction of a mm. To achieve the same image quality at a large aperture would need a much more exacting manufacturing precision.

Colour correction

A single lens element – with no scope for colour correction – best shows up chromatic aberration types and effects.
When such a lens images a plane on the optical axis, the images are spread out by wavelength along the axis. The blue image is nearest to the lens, the red one farthest away. This is axial or longitudinal chromatic aberration. Its extent, that is the axial separation between the red and the blue image planes for an object at infinity, is just over 2% of the focal length with a crown glass (BK7) lens element and over 4% with a flint glass (F2) lens. Crown glass types thus have low dispersion, flint glasses high dispersion.
The focal length of the lens and hence the image size also depends on the wavelength. This is sometimes referred to as chromatic variation of magnification. The focal length is shortest for blue light and longest with red light; the red image is therefore larger than the blue one. In the above example the relative scale differences are again about 2% or 4% respectively.
Finally, images of off-axis object points are also subject to lateral chromatic aberration. This is due to the fact that a principal ray running from an object point to the centre of the lens is refracted differently for different wavelengths of light. The lens refracts a short-wave principal ray more than a long-wave one. The longer the wavelength of the light, the further from the optical axis will the principal ray intersect the image plane.
Obviously these chromatic aberrations would seriously interfere with lens performance, causing unsharpness in black-and-white images and uncon-

Hauptstrahls durch die Bildebene wandert deshalb mit zunehmender Wellenlänge von der Achse weg. Es ist verständlich, daß die geschilderten Farbfehler die Abbildungseigenschaften eines Objektivs empfindlich beeinträchtigen würden, sei es in Form von Unschärfe bei Schwarzweiß-Abbildungen oder durch unübersehbare Farbränder bei Farbaufnahmen. Auf ihre Korrektion muß deshalb besonderer Wert gelegt werden.

Die Korrektion von Farbfehlern in einem optischen System erfolgt durch Einsatz von Gläsern unterschiedlicher Dispersion. Für die Linsen positiver Brechkraft werden meist Glasarten niedriger, für die Negativlinsen Glasarten hoher Dispersion verwendet.

Der erzielte Effekt wird bei Betrachtung des korrigierten Farblängsfehlers deutlich: Durchläuft die Wellenlänge des Lichts das sichtbare Spektrum von blau bis rot, so wandert das zugehörige Bild zunächst in Richtung auf das Objektiv, kehrt bei einer mittleren Wellenlänge um und entfernt sich wieder vom Objektiv. In jeder zur Achse senkrechten Ebene fallen jetzt zwei Bilder verschiedener Wellenlängen zusammen. Die Strecke längs der optischen Achse, die nunmehr alle Bilder des sichtbaren Wellenlängenbereichs enthält, wird sekundäres Spektrum genannt. Es ist, verglichen mit dem „primären" Spektrum der achromatisch unkorrigierten Einzellinse, wesentlich kürzer geworden.

Nach den Gesetzen der geometrischen Optik wächst der Absolutbetrag des Farblängsfehlers eines optischen Systems auf das etwa Vierfache, wenn man von der Abbildung eines weit entfernten Objekts auf die Abbildung im Maßstab 1:1 übergeht.

Alle Rodenstock Objektive, die für den Einsatz im Maßstabsbereich 1:1 bestimmt sind, weisen eine besonders sorgfältige Achromatisierung auf. Das drückt sich auch im Namen durch die Vorsilbe „Apo" aus – Apo-Ronar, Apo-Gerogon etc. „Apo" steht für „apochromatisch". Apochromatische Systeme, im Gegensatz zu den achromatischen, nannte man ursprünglich diejenigen, die nicht nur zwei, sondern drei Wellenlängen des Lichts in einer Ebene fokussierten. Dies gilt bei Mikroskop-Objektiven immer noch. Bei fotografischen Objektiven bedeutet apochromatisch mittlerweile entsprechend DIN 19040 Teil 5 „Chromatisch besonders gut korrigiert", wobei aber kein klares Kriterium für „besonders gut" angeführt wird. Wir bezeichnen deshalb als apochromatische Reproduktions-Objektive solche,

trollable colour fringes in colour exposures. Elimination of these aberrations is therefore vital.

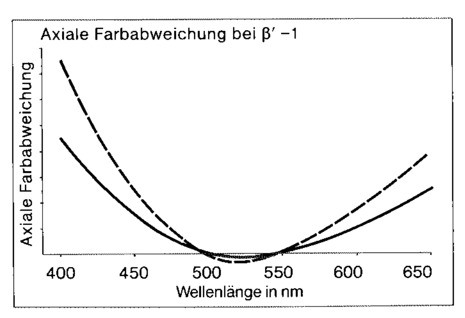
Chromatic aberrations are corrected in optical systems by employing glasses of different dispersion. Usually low-dispersion glasses are used for converging lens elements and high-dispersion glasses for diverging elements.

The result becomes apparent when we look at the effect of corrected axial chromatic aberration. On tracing the light wavelength through the visible spectrum from blue to red, the corresponding image first moves towards the lens, then turns back at a medium wavelength and moves away again. As a result, two images of different wavelength coincide in each plane at right angles to the optical axis. The distance along the optical axis that now covers all images of the visible wavelength range is the so-called secondary spectrum. It is considerably shorter than that of the 'pimary' spectrum of a chromatically uncorrected single lens element.

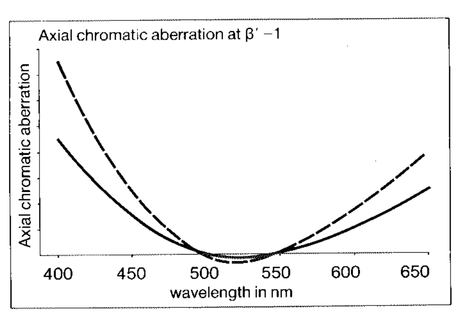
By the rules of geometric optics the absolute magnitude of axial chromatic aberration increases approximately fourfold as the lens moves from imaging an object at infinity to a 1:1 reproduction scale.

All Rodenstock lenses intended for process photography at around 1:1 scale are therefore meticulously achromatised. The 'Apo-' prefix also indicates this: Apo-Ronar, Apo-Gerogon etc. 'Apo' stands for 'apochromatic', a designation applied originally to lenses that focused three wavelengths of light in the same plane – instead of just two, like normal achromatic lenses. This is still valid for microscope objectives. For photographic lenses the German DIN 19040 standard (Part 5) now specifies apochromatic as showing a specially high level of chromatic correction, but with no clear difinition of the 'specially high level'. We therefore define an apochromatic process lens as one whose secondary spectrum at 1:1 reproduction is reduced to not more than 0.4% of the focal length.

deren sekundäres Spektrum beim Maßstab 1:1 auf maximal 0,4% der Brennweite reduziert ist.



Grafische Darstellung der Farbkorrektion



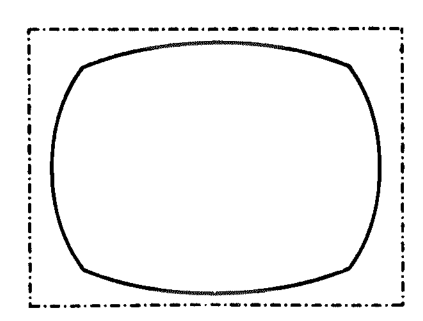
Colour correction curve

Die gestrichelte Linie gibt das Ausmaß des Bildfehlers bei üblicher „Achromasie" an; die durchgezogene Linie zeigt die Verringerung des sekundären Spektrums in einem „Apo-Chromaten".
Die für den Reprobereich empfohlenen Vergrößerungs-Objektive (Rodagon, Rodagon-WA, Rodagon-G) führen – mit wenigen Ausnahmen – kein „Apo" in ihrem Namen. Dennoch sind sie in derselben Größenordnung farbkorrigiert und deshalb ebenso farbtüchtig wie „Apo"-Systeme.

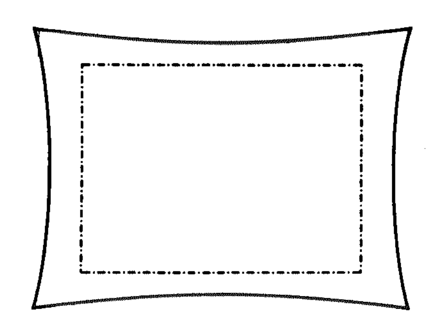
The broken curve shows the residual aberration with normal achromatic correction, the solid curve the reduced secondary spectrum of an apochromatically corrected system.
With two exceptions, enlarging lenses recommended for process work (Rodagon, Rodagon-WA, Rodagon-G) do not include the 'Apo' tag. Their colour correction is however of the same high order and their colour performance therefore equivalent to the Apo systems.

Verzeichnung
Die Verzeichnung ist ein Bildfehler, der bewirkt, daß das Bild eines Rechteckes an seinen Ecken entweder kissenförmig oder tonnenförmig verzerrt wird.

Distortion
Distortion causes the image corners of a rectangle to be drawn outwards like a pincushion or inwards like a barrel.



Tonnenförmige Verzeichnung
Barrel distortion



Kissenförmige Verzeichnung
Pincushion distortion

Verzeichnung bedeutet somit eine lokale Änderung des Abbildungsmaßstabes. Die Verzeichnung der Rodenstock Reproduktions-Objektive geht im empfohlenen Anwendungsbereich nicht über 0,4% hinaus. Die Prozentzahl bezieht sich auf den maximalen Bildwinkel und auf die Grenze des empfohlenen

Distortion thus implies local variations in image scale. For the recommended applications the degree of distortion of Rodenstock process lenses does not exceed 0.4%. This percentage value refers to the maximum angle of field and to the limits of the recommended range of reproduction scales.

Maßstabsbereiches. Beim Apo-Ronar CL bleibt dieser Wert sogar unter 0,2%.
Die Werte der Verzeichnung (D) wurden nach folgender Gleichung ermittelt:

$$D = \frac{y'_{ist} - y'_{soll}}{y'_{soll}} \times 100\%$$

wobei y' der Abstand des Bildpunktes von der optischen Achse ist (Bildradius). Die angegebenen Beträge gelten auch für die reziproken Abbildungsmaßstäbe 1/β'. Hierbei kehrt sich allerdings das Vorzeichen der Verzeichnung um.

Bildwinkel
Alle von einem Objektiv abgebildeten Gegenstände liegen innerhalb eines bestimmten Winkels, der seinen Scheitelpunkt etwa in der Mitte des Objektivs hat. (Das gilt für „normale" Konstruktionen, nicht jedoch für Tele- und Retrofocus-Objektive. Die spielen in der Reprotechnik keine Rolle). Der maximale Bildwinkel ist im großen und ganzen bestimmt durch den Objektivtyp, denn nicht jede Anordnung von Linsen läßt sich auf einen beliebig großen Bildwinkel korrigieren. Ein erweitertes Triplet (z. B. der Tessartyp) bildet mit wirklich guter Qualität nur innerhalb eines mäßigen Winkels ab und auch nur wenn es auf nicht allzu große Anfangsöffnung hin gerechnet wurde. Aus einem Doppel-Gaußtyp kann man entweder ein hochgeöffnetes Objektiv mit normalem oder ein weniger lichtstarkes mit relativ großem Bildwinkel machen usw. Angaben über den nutzbaren Bildwinkel eines Objektivs sind meist erklärungsbedürftig. Man erkennt dies sehr schnell, wenn man das auf einer Mattscheibe erscheinende Bild betrachtet. Die Bildqualität bleibt von der Mitte zum Rand hin ziemlich gleich, und fällt dann im Grenzbereich des Bildwinkels relativ rasch ab. Die Abbildungsleistung läßt aber nicht auf einmal und von einem Winkelgrad zum anderen rapide nach; der Übergang ist fließend. Abblendung verschiebt den Grenzbereich zu höheren Bildwinkeln hin. Am charakteristischen Verhalten der Bildqualität über das Bildfeld ändert sich dadurch nichts. Bei der Festlegung des nutzbaren Bildwinkels muß man sich also vom Zweck leiten lassen, für den das Objektiv eingesetzt werden soll. Angenommen, zwischen 40° und 50° mindert sich die Abbildungsgüte gegenüber dem engeren Bildfeld, und über 50° hinaus wird die Zeichnung zunehmend unscharf. Der nutzbare Bildwinkel wird nun so weit reichen, wie die Leistungsminderung noch nicht ins Gewicht fällt. Geht es um die Reproduktion grober

Distortion D is established from this equation:

$$D = \frac{(y'_a - y'_t)}{y'_t} \times 100\%$$

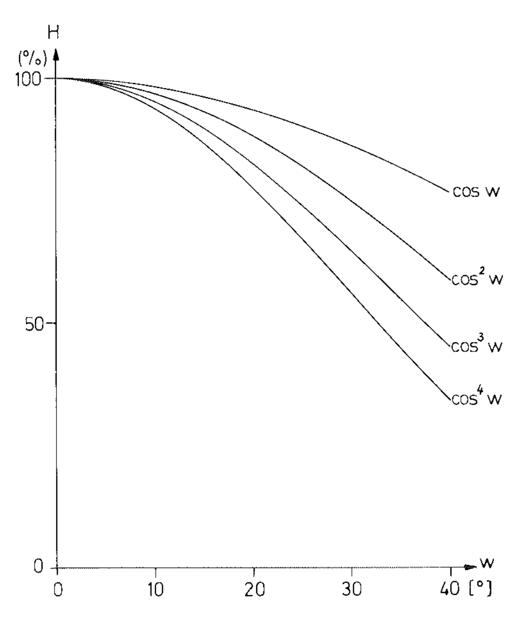
where y' is the distance of the image point in question from the optical axis (y'_a = actual, y'_t = theoretical), i.e. the image circle radius. The amounts indicated also apply to the reciprocal reproduction scale (1/β'), though with reversed sign of the distortion.

Angle of field
All objects imaged by a lens lie within a given angle whose apex is approximately centred in the lens. (This is valid for 'normal' lens configurations though not for telephoto or retrofocus lenses. However, these are not employed in process photography.) The maximum angle of field depends largely on the lens type, for not every lens configuration can be corrected over any desired angle. Thus a triplet derivative (e.g. a Tessar design) yields good image quality only within a a restricted angle and then only if it is not computed for too large a maximum aperture. A double Gauss type symmetrical lens can be designed either as a high-speed lens of a normal angle or as a slower lens covering a comparatively wider angle. Effective angle-of-field data for a lens usually need some qualification. This becomes apparent when we look at the image on a focusing screen. Image quality is fairly uniform from the centre towards the edge and then drops rapidly near the limiting angle of field. This is however still a smooth and not an abrupt change. Stopping down shifts the limit outwards but does not affect quality over the main image field. When specifying a usable angle of field we must therefore consider the intended application of the lens. Suppose for instance that definition deteriorates slightly between 40° and 50° and drops considerably beyond 50°. The usable angle of field will then extend to a point at which image deterioration is not yet significant. Thus for coarse line reproduction a 50° limit may be perfectly acceptable; with fine-line copy the limit is more likely to be around 40°.
Angles of field refer to a given aperture, for stopping down also affects image quality. Angles of field are quoted for the working aperture.

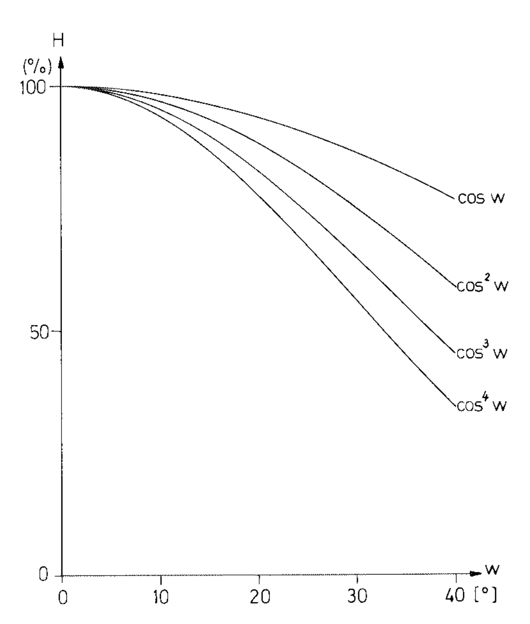
Striche, wird er bei 50° liegen. Bei einer Feinstrichvorlage kann die Grenze bereits bei 40° erreicht sein. Alle Bildwinkelangaben gelten für eine bestimmte Blende, denn Abblendung hat Einfluß auf die Bildqualität. Die Blende, die der Ermittlung des Winkels zugrunde liegt, ist die Arbeitsblende.

Lichtabfall
Für die Konstruktion einer Reprokamera wäre unter bestimmten Umständen ein Bildwinkel von 180° ideal, denn je größer der Bildwinkel ist, desto kürzer können bei gegebenem Format die Abstände zwischen Objekt und Film sein. Hier kann der Objektivhersteller jedoch nicht alle Wünsche erfüllen. Bei vertretbarem Aufwand und Einsatz einer größeren Anzahl von Linsen gelingt die Entwicklung von Objektiven mit gut 70° Bildwinkel. Die möglichen Brennweiten sind dabei nicht allzu lang, die Abbildungsleistung immer noch gut. Hier muß jedoch ein weiterer Punkt berücksichtigt werden. Mit größerem Winkel nimmt die Bestrahlungsstärke außen gegenüber der Bildmitte ab. Nimmt man der Einfachheithalber einen ebenen Lambertstrahler als Objekt und setzt eine ebene Eintrittspupille des Objektivs voraus, fällt die Bestrahlungsstärke in der Bildebene mit dem $\cos^4$ des halben Bildwinkels ab.
Der Lichtabfall nimmt dabei beachtliche Werte an. So sind es 32,5% bei 50° und bereits 55% bei 70°. Abweichungen dieser Größe können mit Filmen, die

Light fall-off
Ideal from the process camera designer's point of view would be a 180° angle of view. For the larger the angle, the shorter can be the original/film distance for a given film size. But there are limits to what is feasible in optics. By using more lens elements it is possible to develop lens systems with an angle up to around 70° at acceptable cost. The resulting focal lengths are not too long and image performance still good. However, a further point arises: The greater the angles, the more image luminance drops from the centre to the edge. If for simplicity we take a uniformly radiating area as the subject and a lens with a plane entrance pupil, the luminance in the image plane is porportional to $\cos^4$ of the half-angle of view. This light loss can become considerable: It is 32.5% at 50° and as much as 55% at 70°. Extreme-contrast films cannot cope with such differences. Up to a point we can compensate light fall-off by suitably lighting the copy. In view of what is feasible in terms of illumination and lens design, the practical limiting angle is between 70° and 80° – which still makes quite



Achse H = Helligkeit %, Achse w = ½ Bildwinkel



H axis = % Luminance, W axis = Half-angle of view

eine steile Gradation aufweisen, nicht mehr verarbeitet werden. Hier muß man durch Ausleuchten der Vorlage den Lichtabfall kompensieren, natürlich nur soweit wie es wirtschaftlich vertretbar ist. Unter Berücksichtigung von Objektiv und Ausleuchtung dürfte aus diesem Grund die Grenze des Bildwinkels zwischen 70° und 80° liegen, Werte, die den Bau sehr kompakter Kameras zulassen.
Zum Thema Lichtabfall gehört auch die Vignettierung bei offener Blende. Vignettierung ist die zusätzliche Beschneidung der Randstrahlen durch den Fassungstubus. Sie nimmt durch Abblenden ab und verschwindet schließlich ganz. Alle Rodenstock Repro-Objektive sind so gebaut, daß bei der empfohlenen Arbeitsblende keine Vignettierung mehr auftritt. Um das zu erreichen, sind z. B. die Vorder- und Hinterlinsen der Weitwinkelobjektive deutlich größer als sie aufgrund der relativen Öffnung sein müßten. Nur so ist ein ungehinderter Durchgang der Randstrahlen bei Arbeitsblende möglich.

Abbildungsmaßstab
In der fotografischen Wiedergabe stehen Objekt und Bild jeweils in einem bestimmten Größenverhältnis zueinander. Dieses Verhältnis ist der Abbildungsmaßstab. Er wird in Zahlen angegeben, die sich auf die lineare Ausdehnung von Gegenstand und Bild beziehen. In der Deutschen Industrienorm DIN 1335 wird der Abbildungsmaßstab mit β' bezeichnet, wobei die zugehörige Maßzahl ein Minuszeichen erhält (da das Bild umgekehrt ist). $\beta' = -1$ bedeutet also Abbildung in natürlicher Größe, $\beta' = -1/3$ heißt, daß das Bild ein Drittel der Ausdehnung des Objektes ausmacht, und $\beta' = -3$ nennt die dreifache lineare Vergrößerung des Objektes in der Abbildung. Diese Angaben finden sich im Kopftext der MTF-Grafiken. In der Fotografie geläufiger sind immer noch die Bezeichnungen wie 1:1, 1:3, 3:1. Die Reprografen dagegen rechnen mit Prozenten. Folgende Angaben sagen jeweils dasselbe:

$\beta' = -1$; Abbildungsmaßstab 1:1; Abbildung 100%
$\beta' = -1/3$; Abbildungsmaßstab 1:3; Abbildung 33%
$\beta' = -3$; Abbildungsmaßstab 3:1; Abbildung 300%

Für die Korrektion eines Objektivs ist es wichtig, in welchem Maßstabsbereich es eingesetzt werden soll. Exakte Daten können den technischen Tabellen unter Begriff „Empfohlener Maßstabsbereich" entnommen werden. Die angegebenen Zahlen besagen, daß innerhalb dieses Bereiches die Bildqualität den in der Praxis gestellten Anforderungen entspricht.

compact process cameras possible.
Another aspect of light fall-off is mechanical vignetting – i.e. the fact that at full aperture the lens mount also cuts off some of the marginal rays. Such vignetting decreases and eventually disappears on stopping down. At their recommended working aperture all Rodenstock process lenses are free from mechanical vignetting. In the wide-angle lenses this is achieved with larger front and rear elements than would be needed for the aperture itself. Thus at the working aperture no part of the mount obstructs any marginal rays.

Scale of reproduction
All photographic reproduction involves a specific object/image size ratio. This is the scale of reproduction, normally quoted in linear terms. The German DIN 1335 standard uses β' ('beta') for the scale of reproduction, giving the value a minus sign, since the image is inverted. Hence $\beta' = -1$ stands for same-size reproduction, $\beta' = -1/3$ for an image that is one-third the size of the original (1:3 reduction) and $\beta' = -3$ for a 3 times linear magnification of the original. These values are included in the MTF curve headings. More common in photography are straight ratios such as 1:1, 1:3 or 3:1, while process operators are used to percentage magnifications. So here are alternative ways of expressing identical scales:

$\beta' = -1$ – 1:1 reproduction – 100% magnification
$\beta' = -1/3$ – 1:3 reduction – 33% magnification
$\beta' = -3$ – 3:1 magnification – 300% magnification

Relevant to lens correction is the reproduction scale range for which the lens is intended. Some of the technical tables quote more detailed values for the recommended scale range; those figures indicate that within the range shown the image quality meets stipulated practical requirements.

Modulations-Übertragungsfunktion (MTF)
Als objektives Maß für die Abbildungsqualität optischer Systeme gibt es seit einigen Jahren die Modulations-Übertragungsfunktion (MTF). Die Theorie der MTF macht von der Tatsache Gebrauch, daß jede beliebige Helligkeitsverteilung im Objektiv durch Überlagerung von periodischen Helligkeitsverteilungen unterschiedlicher Periodenlängen dargestellt werden kann.

Somit ist die Abbildungsqualität eines Systems für einen Punkt des Bildfeldes eindeutig beschrieben, wenn seine Abbildungseigenschaften für periodische Strukturen bekannt sind.

Als periodische Strukturen dienen in diesem Zusammenhang hell-dunkel Liniengitter, die man durch ihre Modulation (d. h. den Strahldichteunterschied zwischen hell und dunkel) und ihrer Ortsfrequenz (d. h. Anzahl der hell-dunkel Linienpaare pro mm) charakterisiert. Statt Modulation – ein Begriff, der in der Elektrotechnik üblich ist – wird in der Optik auch häufig der Ausdruck Kontrast verwendet.

Bei der Abbildung wird durch die Aberrationen des optischen Systems und durch die Beugung des Lichts die Modulation des Streifengitters verringert; die dunklen Streifen hellen sich auf, die Helligkeit der hellen wird geringer. Dieser Effekt tritt um so stärker in Erscheinung, je höher die Ortsfrequenz ist. Ab einer bestimmten Ortsfrequenz, die von der Wellenlänge des Lichts und der Blendenzahl abhängt, ist im Bild keine Modulation mehr feststellbar (Grenzfrequenz). Als Maß für die Fähigkeit des optischen Systems, die Modulation vom Objekt in das Bild zu übertragen, dient der Modulations- oder Kontrastübertragungsfaktor. Er gibt an, welcher Bruchteil der Modulation des Objekts sich im Bild wiederfindet. Sein Betrag liegt definitionsgemäß zwischen den Werten 0 und 1.

Außer von der Ortsfrequenz hängt der Kontrastübertragungsfaktor auch noch von der Blendenzahl des optischen Systems ab. Bei weit geöffneter Blende dominieren im allgemeinen die geometrischen Fehler. Sie verringern sich bei Abblendung, dafür steigt der Einfluß der Beugung. Bei einer bestimmen Blendenstellung wird also ein höchster Wert des Kontrastübertragungsfaktors erreicht.

Schließlich ist zu berücksichtigen, daß die geometrisch-optischen Fehler nicht an allen Stellen des Bildfelds gleiche Größe haben. Sie sind im mittleren Teil des Bildfelds generell kleiner als am Rand. Somit kann z. B. am Bildfeldrand durch weiteres

The modulation transfer function (MTF)
Over the years the modulation transfer function (MTF) has become an objective measure of the image quality of optical systems. MTF theory is based on the fact that we can represent any brightness distribution in an object by a set of superimposed periodic brightness variations of different frequencies.

If the imaging characteristics of a system are known for a periodic pattern, this can directly define the image quality of the system for a given point in the image field.

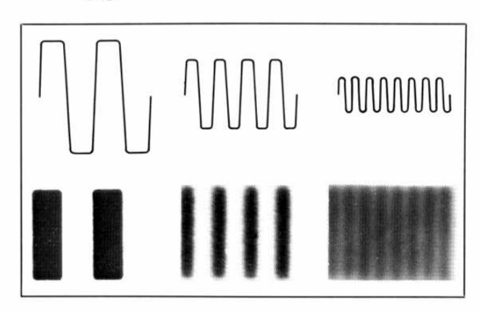
The periodic patterns used here are targets of alternating light and dark lines described by their modulation (the luminance difference between light and dark) and their spatial frequency (the number of light and dark line pairs per mm). Modulation is a term derived from electronic signals; in optics, contrast is sometimes used instead.

In the image the aberrations of the optical system and light diffraction reduce the modulation of the line target: The dark lines become lighter, the light ones darker. This effect increases with increasing spatial frequency. At a limiting spatial frequency – which depends on the light wavelength and lens aperture – the image ceases to show modulation. A measure of an optical system's ability to reproduce the object modulation in the image is the modulation transfer factor or contrast transfer factor. This indicates the proportion of the object modulation reproduced in the image. By definition this factor ranges between 0 and 1.

The modulation transfer factor depends not only on the spatial frequency but also on the aperture of the optical system. At large apertures the geometric and optical aberrations predominate. They are reduced on stopping down which in turn enhances diffraction effects. There is thus a specific aperture associated with a maximum contrast transfer factor.

Finally, the magnitiude of geometric and optical aberrations varies throughout the image. Generally they are smaller in the centre than at the edges of the field. Stopping down can thus improve edge definition while central image quality drops because of the increasing effect of diffraction. Where it is not vital to utilise the maximum angle of field, the optimum aperture of a process lenses is about f/22. For a clearer understanding of the contrast transfer curves reproduced, let us note some typical contrast transfer factors for diffraction-limited images.

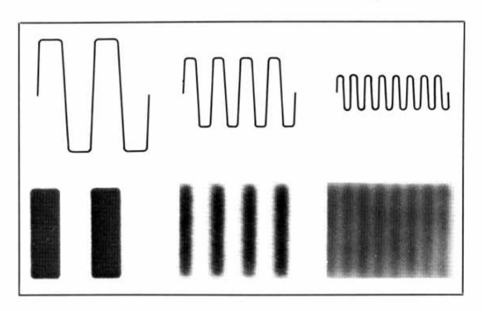
Abblenden noch Qualität hinzugewonnen werden, während in der Mitte bereits wieder Verschlechterung durch zunehmenden Einfluß der Beugung eintritt. Falls nicht extreme Ausnützung des Bildwinkels beabsichtigt ist, liegt die optimale Blende für Repro-Objektive bei etwa 22. Zum besseren Verständnis der nachfolgend wiedergegebenen Kontrastübertragungskurven werden noch einige typische Werte des Kontrastübertragungsfaktors bei beugungsbegrenzter Abbildung genannt.



Je feiner die einzelnen abzubildenden Strukturen sind, desto stärker macht sich die Überlagerung durch die benachbarten Elemente bemerkbar und desto größer wird der Kontrastverlust bzw. desto niedriger die Kontrastübertragung. Bei Verringerung des Linienabstandes wird auch einmal die Grenze erreicht, wo keine Trennung der einzelnen Strukturen mehr möglich ist. Die Kontrastübertragung wird „Null", die Grenze des Auflösungsvermögens ist erreicht.

Diese Werte verdeutlichen die physikalische Grenze der Abbildungsleistung, die durch technische Maßnahmen bei Konstruktion und Fertigung eines optischen Systems nicht beeinflußt werden kann. Im Fall der beugungsbegrenzten Abbildung werden beim Abbildungsmaßstab 1:1 und Blende 22 Kontrastübertragungsfaktoren von 0,75 bei 8 Linienpaare/mm und knapp 0,5 bei 16 Lp/mm erreicht.
In den Diagrammen ist auf der senkrechten Achse der Kontrastübertragungsfaktor eingetragen.
Auf der waagrechten Achse ist der Radius des Bildkreises in Millimetern und der entsprechende halbe Bildwinkel in Grad verzeichnet. 20° heißt, daß der gesamte Bildwinkel 40° beträgt, und 600 mm bedeutet, daß ein Format mit der Diagonalen 1200 mm abgebildet wird. Jeder relativen Öffnung sind zwei Kurven zugeordnet. Die eine gibt die Werte für sagittale Strukturen, die andere die für tangentiale an. Sagittale Orientierung bedeutet, daß die Gitterlinien auf die optische Achse zielen. Die tangentialen Gitterlinien verlaufen rechtwinkelig zu den sagittalen. Einige Bildfehler bewirken, daß solche im Winkel von 90° angeordneten Linien nicht gleich scharf abgebildet werden. Diesem Umstand trägt die Unter-

These values define the physical image performance limits that cannot be improved by design techniques in optical manufacture. Thus for diffraction-limited reproduction at 1:1 scale and f/22 the contrast transfer factor achieved at 8 line pairs/mm is 0.75 and at 16 line pairs/mm just under 0.5.
The graphs show contrast transfer factors plotted along the y axis. The horizontal axis shows the image circle radius in mm and corresponding half-angles in degrees. Thus 20° stands for a total angle of field of

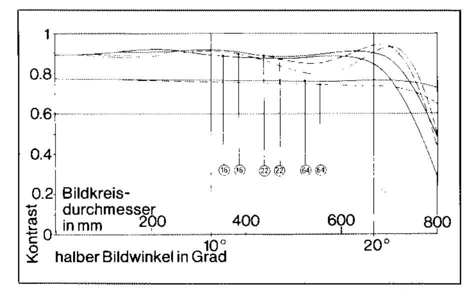


The finer the image pattern to be reproduced, the greater the effect of superimposed neighbouring image detail and the lower the contrast transfer through contrast loss. Reduced interline separation eventually leads to a limit where lines cease to be resolved. At this limiting resolution contrast transfer drops to zero.

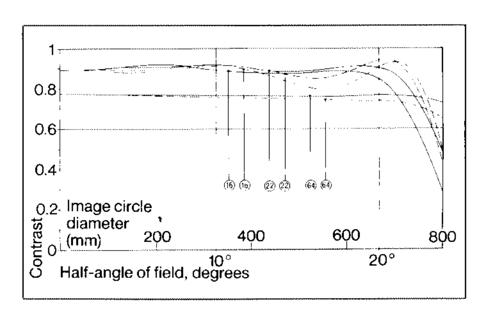
40° and 600 mm indicates that the lens covers an image diagonal of 1200 mm. Two curves shown for each aperture cover values for sagittal and for tangential lines respectively. Sagittal (radial) target lines point towards the optical axis, tangential (or meridional) target lines run at right angles to the sagittal ones. Certain aberrations result in an inability of the lens to reproduce with equal sharpness such sets of target lines at 90° to each other. The distinction between sagittal and tangential contrast transfer quantifies that. Correction of aberrations responsible for this difference brings the two sets of curves closer together.
As an example we have chosen the widely used 480 mm Apo-Ronar CL f/9; the transfer characteristics are the same for all Apo-Ronar CL lenses of the same design. The readings were taken at 1:1 reproduction with measured spatial frequencies of 3 and 6 line pairs/mm and at apertures of f/16, f/22 and f/64. The curves clearly show that contrast transfer is higher for coarser patterns (3 line pairs/mm) than for finer ones (6 line pairs/mm). The contrast at 3 line pairs/mm largely defines the image quality of lines down to about 0.17 mm thick; the contrast at 6 line

scheidung „sagittal-tangential" Rechnung. Werden die Bildfehler, die für die Differenz der Meßwerte verantwortlich sind, behoben, rücken die beiden Kurven dicht zusammen.
Als Beispiel wurde das weitverbreitete Apo-Ronar CL 1:9/480 mm gewählt, wobei zu bemerken ist, daß bei allen vierlinsigen Apo-Ronar CL gleicher Bauweise die Übertragungscharakteristik die gleiche ist. Die Messungen erfolgten bei Abbildung im Maßstab 1:1, die gemessenen Ortsfrequenzen betrugen 3 Linienpaare/mm und 6 Linienpaare/mm. Die herangezogenen Blenden sind 16, 22, 64.
Dabei ist deutlich zu erkennen, daß die Kontrastübertragung für gröbere Strukturen (3 Lp/mm) höher ist als für die Feinstrukturen (6 Lp/mm). Die Abbildungsqualität von 0,17 mm breiten Strichdicken ist im wesentlichen durch die Kontrastwerte bei 3 Lp/mm gegeben, jene von 0,08 mm breiten Strichen durch die Kontrastwerte bei 6 Lp/mm. Wenn man davon ausgeht, daß bei Verwendung eines bestimmten Aufnahmematerials dann gute Ergebnisse in der Reprofotografie erzielt werden, wenn der Kontrast etwa 0,6 oder mehr beträgt, so läßt sich aus den nachfolgenden Kurven ableiten, daß

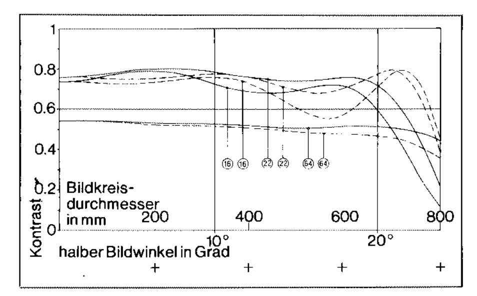
pairs/mm is indicative for line thicknesses down to 0.08 mm. Assuming that with a given film material a contrast transfer in excess of 0.6 yields acceptable process results, the following curves imply that:



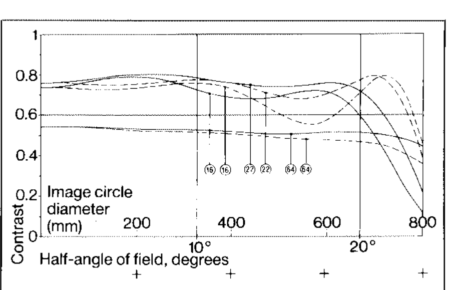
Kontrast in Abhängigkeit vom Bildwinkel für Blende 16, 22, 64 dargestellt für ein vierlinsiges APO-RONAR 1:9/480 mm
3 Linienpaare/mm (30 Lp/cm) —— sagittal
- - - tangential



Contrast as a function of the image angle at f/16, f/22 and f/64 for a four-element 480 mm APO-RONAR CL f/9 lens.
3 line pairs/mm —— sagittal
- - - tangential



Kontrast in Abhängigkeit vom Bildwinkel für Blende 16, 22, 64 dargestellt für ein vierlinsiges APO-RONAR 1:9/480 mm
6 Linienpaare/mm (60 Lp/cm) —— sagittal
- - - tangential



Contrast as a function of the image angle at f/16, f/22 and f/64 for a four-element 480 mm APO-RONAR CL f/9 lens.
6 line pairs/mm —— sagittal
- - - tangential

- bei groben Strukturen (3 Lp/mm) kaum Probleme auftreten werden. Durch Änderung der Blende kann lediglich der ausgezeichnete Bildkreisdurchmesser beeinflußt werden; während
- bei Aufnahmen feiner Strukturen (6 Lp/mm) die Verhältnisse ganz anders sind. Hier zeigt sich, daß bei Blende 16 noch keine optimalen Ergebnisse zu erwarten sind. Es empfiehlt sich, mindestens auf Blende 22 abzublenden. Der Kurvenverlauf zeigt, daß bereits durch das Abblenden um eine Stufe ein beachtlicher Bildfeldzuwachs erreicht wird.

Abblenden über Blende 32 hinaus führt infolge stärkerer Beugung zu einer Verschlechterung der Kontrastübertragung. So liegt bei Blende 64 im gesamten Bildfeld der Kontrastwert unter 0,6 (Die rein physikalisch bedingte Beugung tritt um so stärker auf, je stärker das Objektiv abgeblendet ist).

Interpretation von MTF-Kurven

Damit Sie die den einzelnen Objektivtypen beigegebenen Kurven mit größtmöglichem Nutzen interpretieren können, hier noch einige Hinweise auf das allgemeine Aussagevermögen dieser Darstellungsweise.

Es gibt gerechnete und gemessene Kurven. Die einen liefert der Computer, der sie aus den Konstruktionsdaten des Objektivs ermittelt.

Die gemessenen Kurven dagegen werden am fertigen Objektiv gewonnen. In der MTF-Meßanlage wird mit dem Prüfling ein leuchtender Spalt abgebildet. Das Spaltbild weicht in Form und Breite vom Objektivspalt ab, und aus dieser Abweichung wird durch Rechenoperation mittels eines angeschlossenen Computers ermittelt, mit welchem Kontrast bestimmte Ortsfrequenzen abgebildet werden. Die Messung erfolgt an zahlreichen Orten des Bildfeldes, und aus den anfallenden Daten stellt man die Kurven zusammen, die im vorigen Kapitel abgebildet sind. Das ganze ist ein aufwendiges Verfahren, gibt aber zuverlässigen Aufschluß, ob in der Serienproduktion die Baudaten mit der erforderlichen Genauigkeit eingehalten sind. Für die Apo-Ronar CL beträgt die maximale Abweichung für den Kontrast zwischen berechneten und gemessenen Kurven 0,05, für die anderen Repro-Objektive 0,1. Diese Werte beziehen sich auf die Unterteilung der Kontrastachse, deren Gesamthöhe mit 1 angegeben ist.

Die hier wiedergegebenen Diagramme enthalten gerechnete Kurven. Der Rechnung wurde eine Spektralverteilung zugrunde gelegt, bei der die Vorlage

- Coarse detail (3 line pairs/mm) is unlikely to cause problems. Stopping down the lens merely affects the diameter of the image circle covered.
- Matters radically change when dealing with finer detail equivalent to 6 line pairs/mm. Here results are still short of the optimum at f/16 and the lens should be stopped down to at least f/22. The curves further show that even stopping down by one f-stop significantly increases the image field.

Stopping down beyond f/32 increases diffraction, reducing contrast transfer. Thus at f/64 contrast transfer has dropped below 0.6 over the whole image. (Diffraction is purely physical; its effect grows as the lens is stopped down.)

Interpreting MTF curves

To get the most out of MTF curves provided for different lens types, here is more about what such curves can convey.

We have to distinguish between computed and measured curves. The former are a computer output derived from the design data of the lens.

Measured curves on the other hand are obtained from actual production lenses. In the MTF measuring setup the lens under test images a slit of light. The slit image deviates in shape and width from the object slit; from this deviation the system's computer calculates the contrast with which selected spatial frequencies are reproduced. Readings are taken at various image points in the field and the data obtained serve to assemble the curves shown in the previous section. This procedure is rather elaborate but gives a reliable inication whether series production has maintained the design data with the required precision. For the Apo-Ronar CL lenses the maximum permissible deviation between the computed and measured curves is 0.05, for the other process lenses 0.1. These values refer to the contrast axis of maximum height 1.0.

The curves reproduced here are computed curves and are based on a spectral energy distribution equivalent to illuminating the original with white light and photographing it on panchromatic film.

Relevant in practice are curves at the working aperture rather than at the full aperture which is never used for the exposure. We therefore show only working-aperture data, and those at spatial frequencies

mit weißem Licht beleuchtet und auf panchromatischen Film aufgenommen wird.

Für die Praktiker sind nur die Kurven bei Arbeitsblende wichtig. Wie die Abbildung bei voller Öffnung sich gestaltet, interessiert nicht, da diese Öffnung für die Aufnahme nicht genutzt wird. Also sind hier lediglich die Daten der Arbeitsblende gegeben, und unter diesen Daten wurden die Ortsfrequenzen ausgewählt, die für den Einsatzbereich des Objektivs typisch sind. Bei Abbildung 1:1 im Reprobereich geben Frequenzen bis zu 16 Lp/mm allen erforderlichen Aufschluß, denn keine Druckvorlage weist feinere Strukturen auf, und kein „Litho" könnte sie in das Offset- oder Tiefdruckverfahren hinüberretten. Wird vom Maßstab 1:1 abgewichen, hat man es freilich auf der einen Seite des Objektivs auch mit höheren Frequenzen zu tun. Soll von einem kleinen Diapositiv, etwa im Format 6 × 6 cm, ein Farbauszug 15 × 15 cm angefertigt werden, dann bewältigt das „Litho" an Feinstrukturen unverändert, was sich in einem 60 Punkte-Raster unterbringen läßt. Zu diesem Zweck aber muß das Objektiv auf der Seite des Dias die dreifach höhere Auflösung erbringen, denn es wird ja, was im Dia vorgegeben ist, ca. dreifach vergrößert. Fällt diese Maßstabsänderung in den ausgewiesenen Abbildungsbereich des Objektivs, so ist damit garantiert, daß auf seiten der Vorlage die stärkere Auflösung (bei Arbeitsblende) auch stattfindet. So braucht man dann keine Kurven für andere Maßstäbe als 1:1 anzuführen, denn die Aussage „korrigiert für 1:5 bis 1:1" besagt, daß bei Abweichungen von 1:1 bis zum Maßstab 1:5 die Abbildungsleistung erhalten bleibt.

Bei noch stärkerer Änderung des Abbildungsmaßstabes tritt allerdings eine Grenze der Auflösung ein, die vor allem vom Filmmaterial gezogen wird. Keine Vorlage, die vergrößert werden soll, weist feinere Strukturen als 40–50 Lp/mm auf. Infolgedessen braucht auch das Objektiv nicht mehr zu leisten. So sind bei den ausgesprochenen Vergrößerungs-Objektiven (Rodagon, Rodagon-WA) keine Ortsfrequenzen über 40 Lp/mm hinaus angegeben. Daß so ein Objektiv notfalls bei kleinerem Bildwinkel auch mit 80 Lp/mm fertig wird, ist für die Reprotechnik gleichgültig.

Auf der Kontrast-Achse der Graphik ist durch ein kleines Kreuz jeweils noch die beugungstheoretische Grenze für die entsprechende Ortsfrequenz angezeigt. Die Kontrastübertragung kann diese Grenze höchstens erreichen, nicht jedoch übersteigen.

typical of the applications of the lens. Thus at same-size reproduction spatial frequencies up to 16 line pairs/mm provide all the required information. For no original for printing has finer visible detail and no litho could maintain it in offset or gravure printing. At scales other than 1:1 higher spatial frequencies are of course involved at one side of the lens. To produce for instance a 15 × 15 cm colour separation from a 6 × 6 cm transparency, the litho reproduces any fine detail that a 60 line/cm screen can cover. For this, the lens must however be capable of a three times higher resolution at the transparency end as the transparency is enlarged nearly 3×. If this change of scale is within the specified imaging range of the lens, it will also achieve the higher resolution (at working aperture) at the copy side. Hence there is no need to list curves at scales other than 1:1, for a 'corrected from 1:5 to 1:1' specification implies that image performance is maintained at all reproduction scales between 1:1 and 1:5.

Outside this scale range resolution eventually reaches a limit determined mainly by the film. No copy that needs enlarging has finer detail than 40–50 lp/mm – so the lens needs to resolve no more than that, either. That is why no spatial frequencies above 40 lp/mm are quoted for special enlarging lenses such as the Rodagon or Rodagon-WA. Such a lens could well handle up to 80 lp/mm over a smaller angle of field; but for process photography that is irrelevant.

A small cross on the contrast axis of each graph marks the diffraction limit for the spatial frequency concerned. The contrast transfer curve can at best reach this limit but can never go above it. Correction is optimised if the curve starts near the level of this cross and drops only gradually.

Die Korrektur ist aufs äußerste getrieben, wenn die Kurve in der Nähe dieses Kreuzes ansetzt und nur allmählich abfällt.

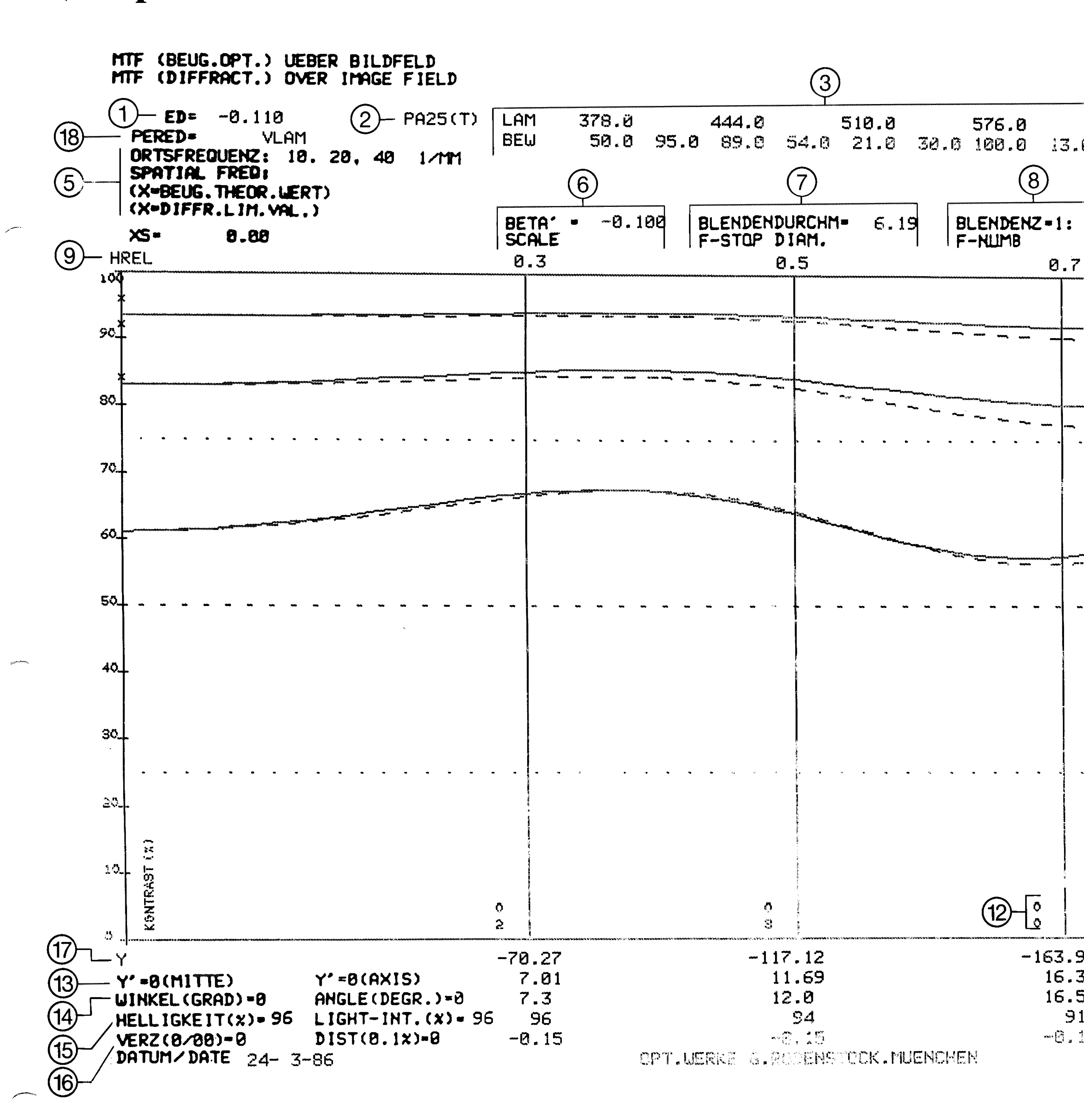
MTF-Beispiel Datenblatt
In dem als Beispiel dargestellten Datenblatt für ein Vergrößerungsobjektiv Rodagon 1:4 f = 50 mm sind Kontrastkurven für die 3 Ortsfrequenzen 10, 20 und 40 Linienpaare pro mm dargestellt. Die gestrichelte Linie zeigt die Kontrastübertragung für tangentiale (meridionale) Bildelemente, die durchgezogene Linie zeigt die Kontrastübertragung der sagittalen Bildelemente. Auf der Abszisse sind neben der Bildhöhe y', der Bildwinkel, die Helligkeit und die Verzeichnung dargestellt. Hiermit ist auf einem Kurvenblatt ein Überblick über die Leistung des Objektivs im gesamten Bildfeld für einen Abbildungsmaßstab möglich. Infolge der Beugung und der unvermeidlichen Aberrationen eines jeden Objektivs ist der Kontrast umso geringer, je höher die Ortsfrequenz ist. Demzufolge entspricht auf diesen Kurvenblättern das unterste Kurvenpaar jeweils der angegebenen höchsten Ortsfrequenz, in unserem Beispiel 40 Linienpaare – d. h. je höher der Kontrast bei vergleichbarer Ortsfrequenz ist, desto besser ist die Bildgüte des Objektivs. Die Einstellebene wurde, der Anwendung entsprechend, für weißes Licht und Normspektralwerte des Auges für die volle Öffnung des Objektives ermittelt. Die MTF-Kurven für die symmetrischen Reproduktions-Objektive sind alle für den Maßstab 1:1 bei Ortsfrequenzen von 4, 8 und 16 Linienpaaren pro mm dargestellt.

The sample MTF data sheet
The sample data sheet for a 50 mm Rodagon f/2.8 enlarging lens shows contrast transfer curves for three spatial frequencies of 10, 20 and 40 line pairs/mm. The broken curves indicate the tangential (meridional) contrast transfer, the solid lines sagittal contrast transfer. The x-axis also shows the image height Y', the image angle, relative image brightness and distortion. For a given scale of reproduction one graph sheet thus gives an overall view of lens performance over the whole field. Owing to diffraction and of residual aberrations present in every lens, contrast drops with increasing spatial frequency. Hence in these graphs the lowest pair of curves always represents the highest spatial frequency, in this case 40 line pairs/mm. The higher the contrast at a given spatial frequency, the better the image quality. The image plane was established for white light, with the eye's standard spectral sensitivity and at the maximum lens aperture, these being the usual focusing conditions. MTF curves for symmetrical process lenses are all computed for 1:1 scale and spatial frequencies of 4, 8 and 16 line pairs/mm.
To permit direct comparison of lenses computed for different reproduction scales, quality indication is based on the object side of the lens.

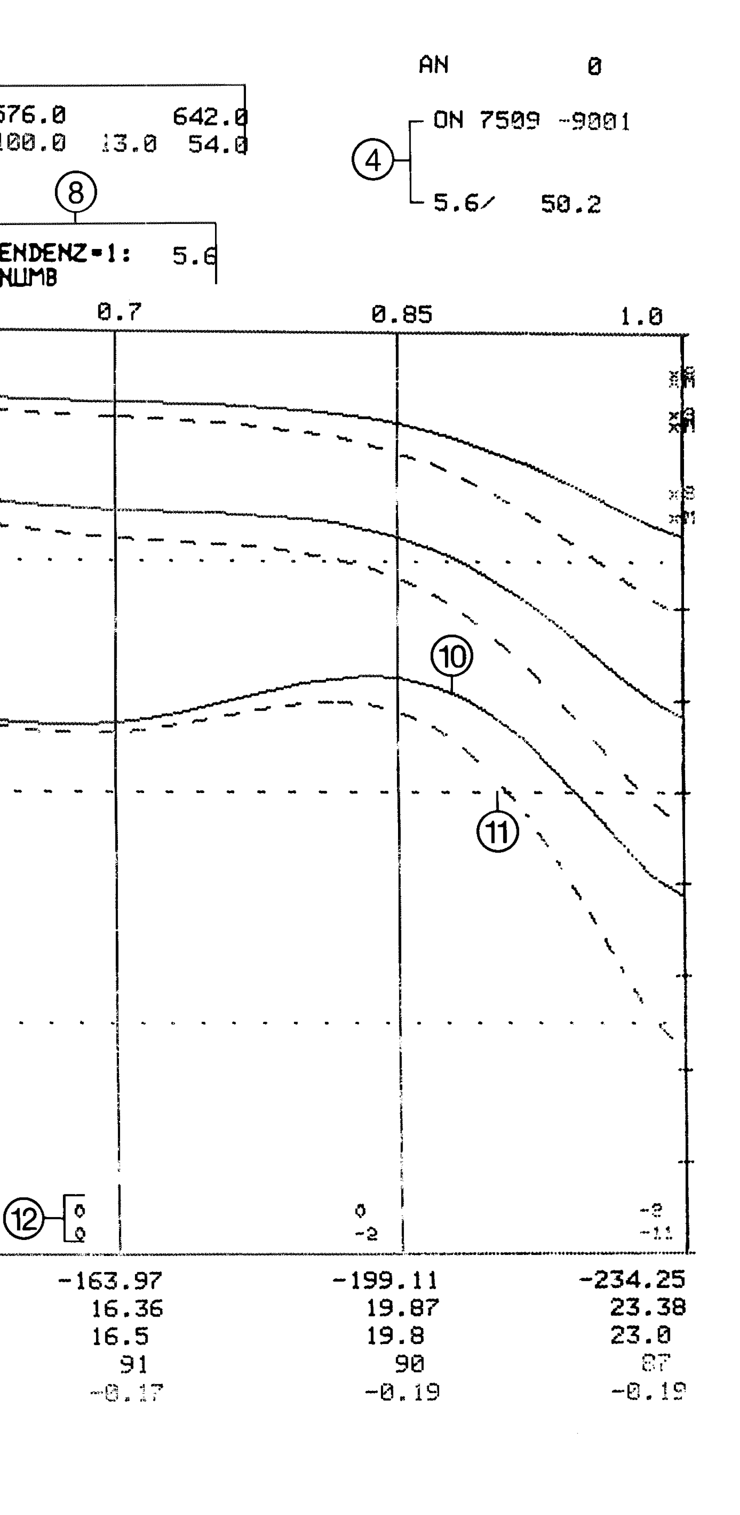
Erläuterung einer MTF-Kurve
(Beispiel MTF-Kurve des Rodenstock Rodagon 1:4 f = 50 mm)

Explaination of a MTF data sheet
(Example MTF graph of the Rodenstock Rodagon 1:4 f = 50 mm)

Erläuterung einer MTF-Kurve
(Beispiel MTF-Kurve des Rodenstock Rodagon 1:4 f = 50 mm)



Explaination of a MTF data sheet
(Example MTF graph of the Rodenstock Rodagon 1:4f = 50 mm)



	Deutsch		English
①	*Lage der Einstellebene zur Gauß-Ebene*	①	*Location of focusing plane relative to Gaussian plane*
②	*Kurzzeichen für spektrale Energieverteilung*	②	*Spectral energy distribution symbol*
③	*Spektrale Energieverteilung LAM = Lambda Wellenlänge in nm; BEW = anteilige Gewichtung der Wellenlänge*	③	*Spectral energy distribution LAM = lambda wavelength in nm; BEW = proportional wavelength weighting*
④	*Hausinterne Kennzeichnung ON = Optik-Nummer, Blendenzahl und Brennweite*	④	*Internal Rodenstock designation ON = lens No., aperture and focal length*
⑤	*Die hier dargestellten Ortsfrequenzen (Lp/mm) *)*	⑤	*Spatial frequencies shown here (line pairs/mm)**
⑥	*Abbildungsmaßstab (Abbildungsverhältnis-β')*	⑥	*Scale of reproduction (β' magnification)*
⑦	*Blendendurchmesser in mm*	⑦	*Aperture diameter in mm*
⑧	*Blendenzahl*	⑧	*Relative aperture (f-number)*
⑨	*HREL = relative Objekthöhe (Maßstab)*	⑨	*HREL = Relative object height (scale)*
⑩	*MTF-Kurve sagittal = radial*	⑩	*Sagittal (radial) MTF curve*
⑪	*MTF-Kurve meridional = tangential*	⑪	*Tangential (meridional) MTF curve*
⑫	*Phase for the two highest spatial frequencies (100 = π/2)*	⑫	*Phase for the two highest spatial frequencies (100 = p/2)*
⑬	*Y' = halbe Bildkreisdiagonale (Bildhöhe)*	⑬	*Y' = Half-diagonal of image circle (image height)*
⑭	*Bildwinkel (w) in Grad*	⑭	*Half-angle of view (w) in degrees*
⑮	*Helligkeit (bzw. Energie) in Abhängigkeit vom Bildwinkel relativ zur Bildmitte (in Prozent)*	⑮	*Percentage brightness (energy) relative to image centre, as a function of angle of view*
⑯	*Verzeichnung in ‰*	⑯	*Distortion in 0.1%*
⑰	*Y = halbe Objektdiagonale (Objekthöhe)*	⑰	*Y = Half-diagonal of object (object height)*
⑱	*Einstellkriterium*	⑱	*Focusing criterion*

Darstellung der Zusammenhänge zwischen Format, Maßstab und Brennweite

Die erforderliche Brennweite ist bei bekanntem Maßstab und verschiedenen Formaten bzw. Formatdiagonalen aus diesen Tabellen ablesbar. (Ber Vergrößerungen: Vorlagenformat, bei Verkleinerungen: Bildformat)

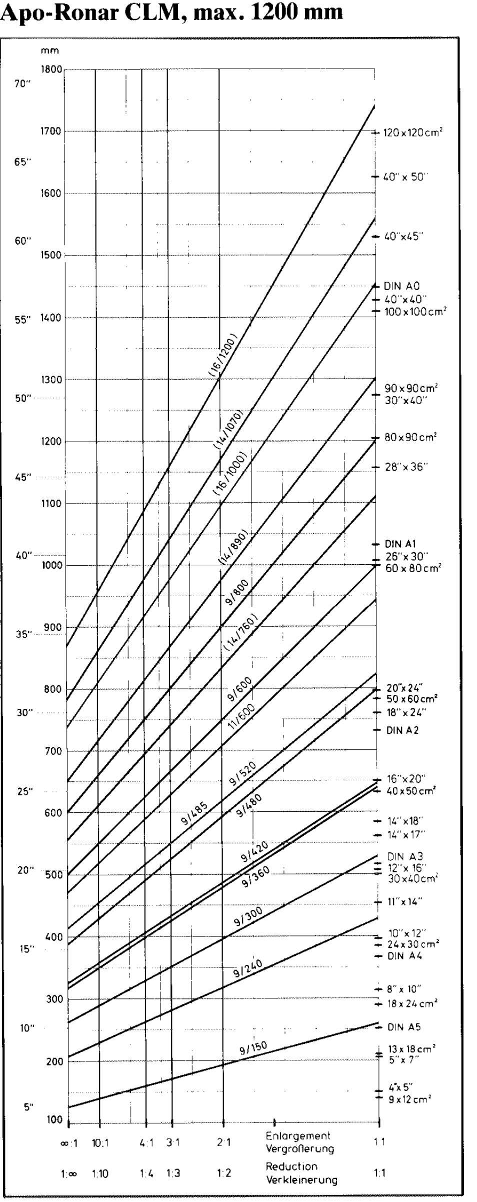
Image format, scale and focal length relationships

These diagrams show the focal length required to reproduce different formats or format diagonals at a given scale of reproduction.
(Refers to copy format for magnifications, to image format for reductions)

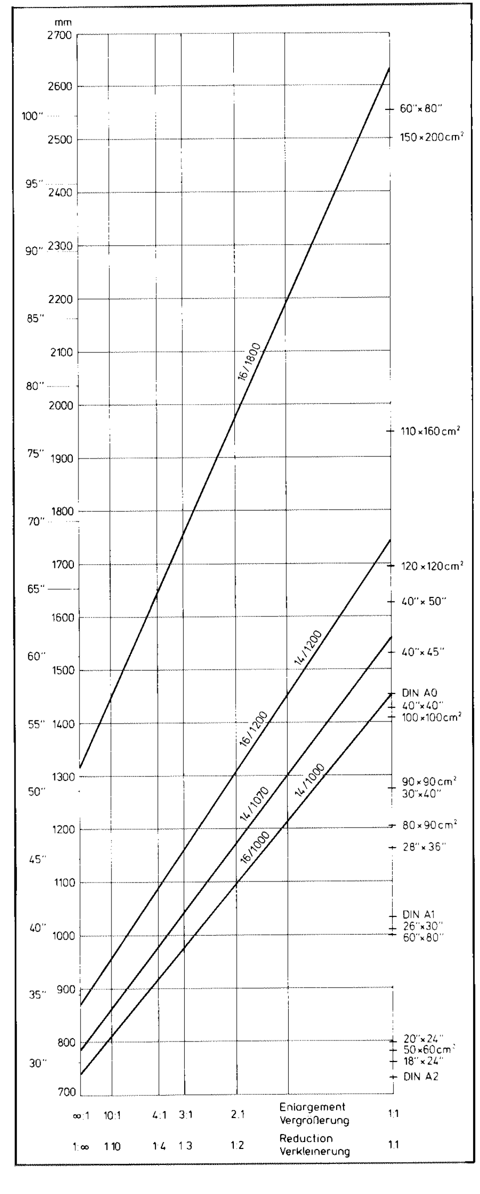
Darstellung der Zusammenhänge zwischen Format, Maßstab und Brennweite

Die erforderliche Brennweite ist bei bekanntem Maßstab und verschiedenen Formaten bzw. Formatdiagonalen aus diesen Tabellen ablesbar. (Ber Vergrößerungen: Vorlagenformat, bei Verkleinerungen: Bildformat)

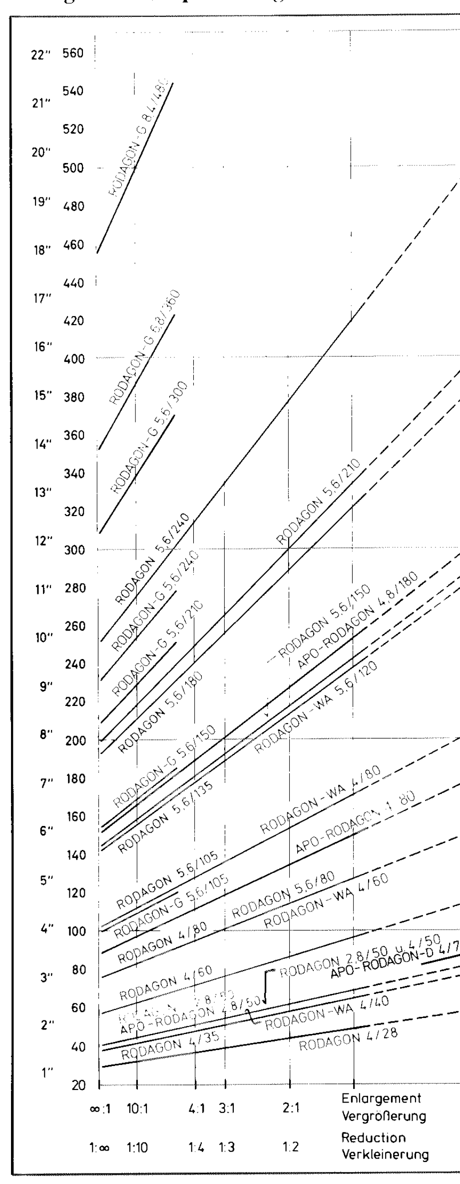
Apo-Ronar/Apo-Ronar CL/ Apo-Ronar CLM, max. 1200 mm



Apo-Ronar CL, min. 1000 mm



Apo-Rodagon D (Rodagon, Rodagon-G, Rodagon-WA, Apo-Rodagon)*

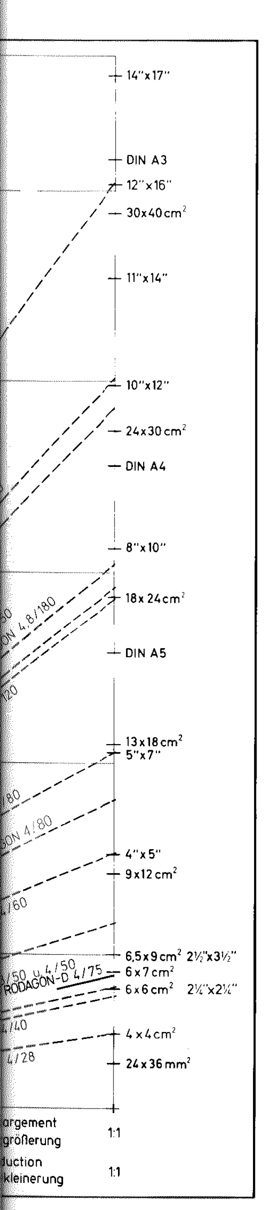


* als Zusatzinformation
* additional information

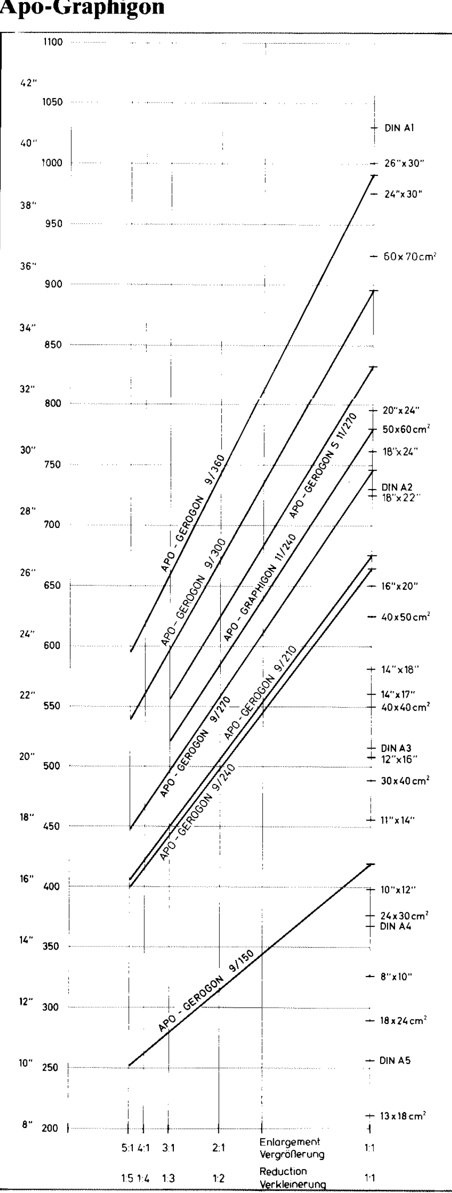
Image format, scale and focal length relationships

These diagrams show the focal length required to reproduce different formats or format diagonals at a given scale of reproduction.
(Refers to copy format for magnifications, to image format for reductions)

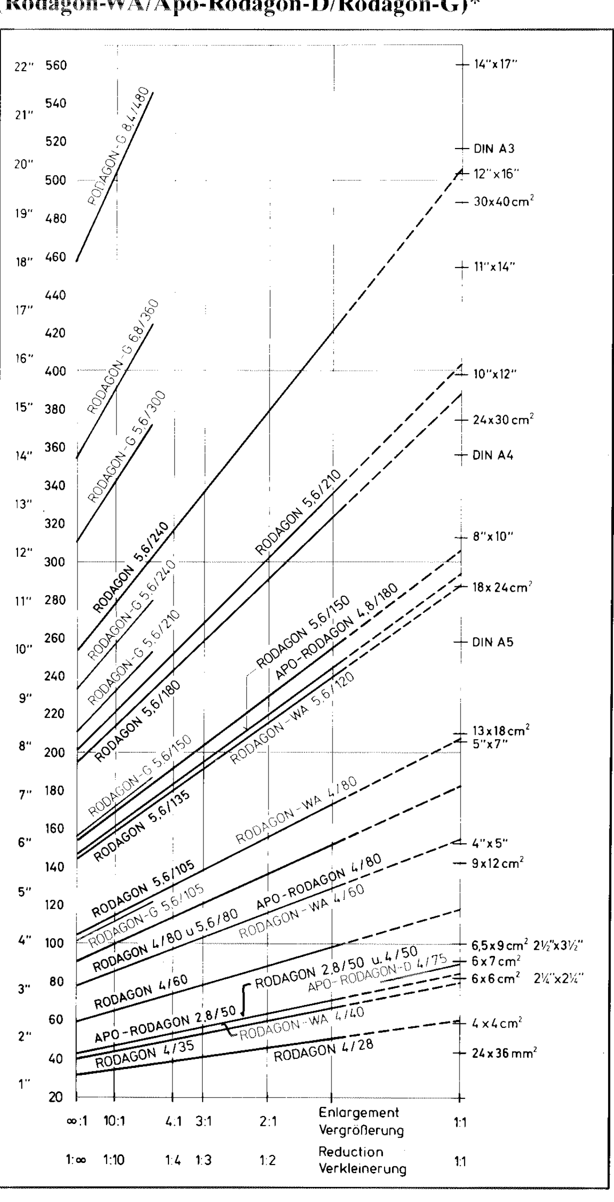
agon-G,



Apo-Gerogon/Apo-Gerogon S/ Apo-Graphigon

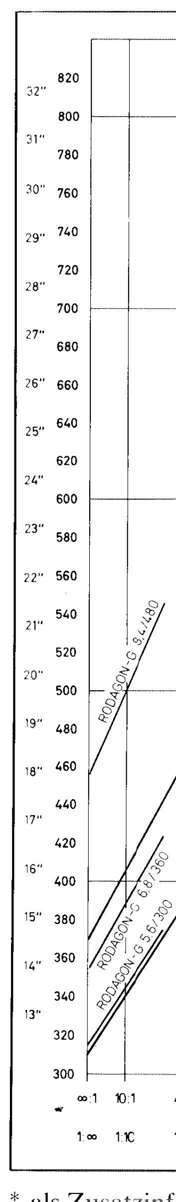


Rodagon/Apo-Rodagon, max. 240 mm
(Rodagon-WA/Apo-Rodagon-D/Rodagon-G)*



* als Zusatzinformation
* additional information

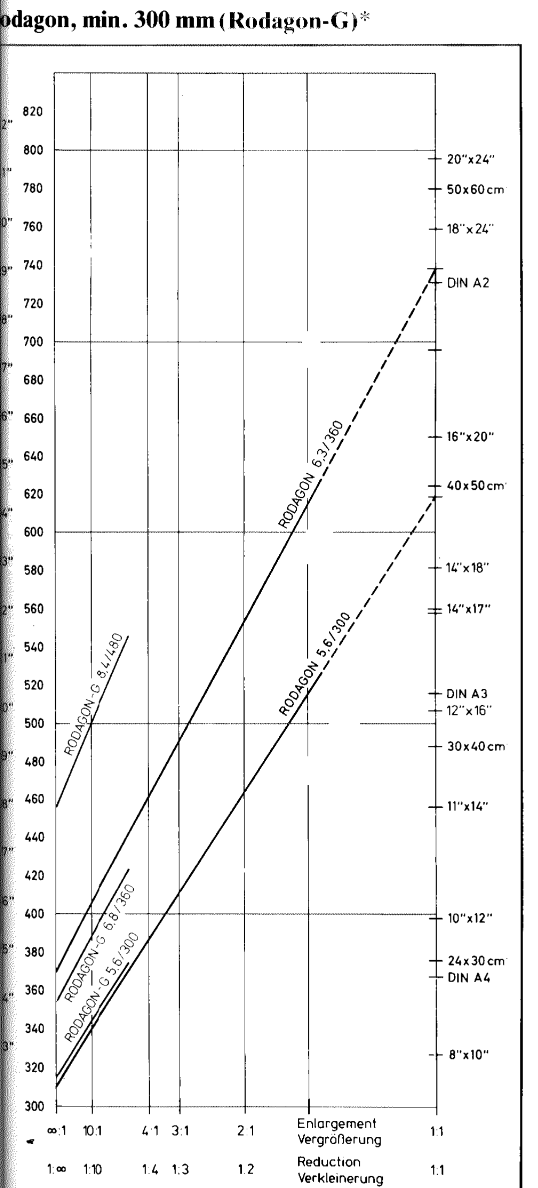
Rodagon, min. 3



* als Zusatzinfo
* additional inf

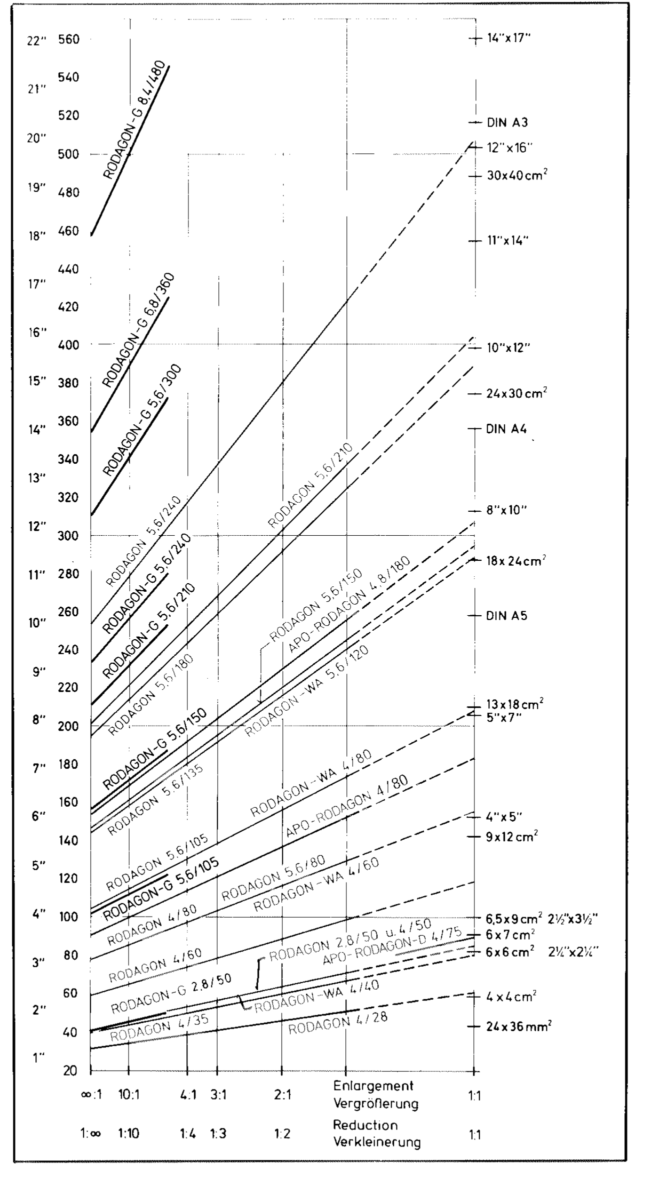
REPRO-HANDBUCH
PROCESS LENS MANUAL

odagon, min. 300 mm (Rodagon-G)*



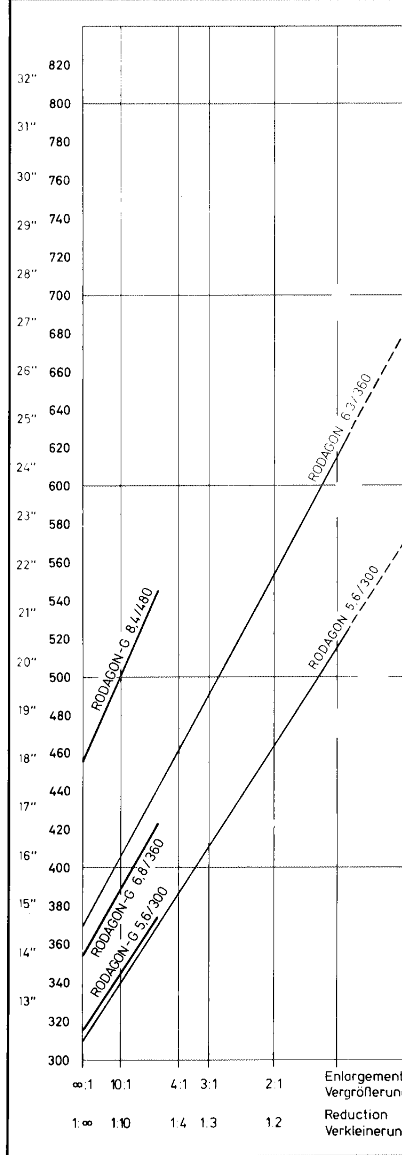
als Zusatzinformation
additional information


Rodagon-G (Rodagon, Rodagon-WA, Apo-Rodagon)*



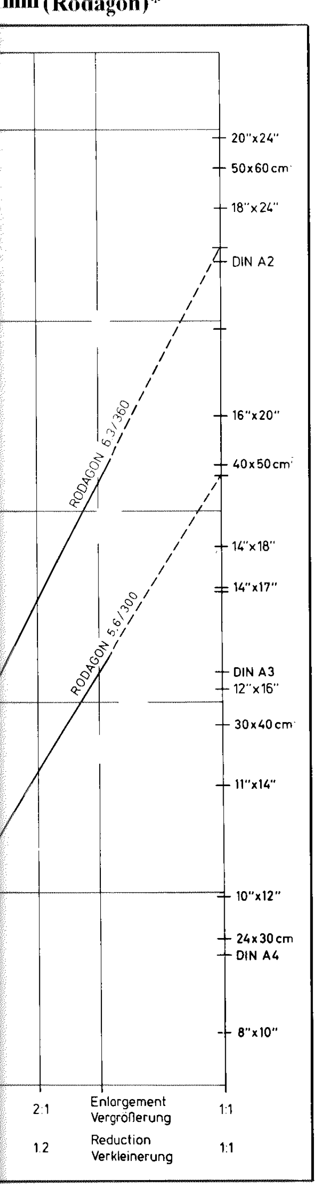
* als Zusatzinformation
* additional information

Rodagon-G, min. 300 mm (Rodagon)*



* als Zusatzinformation
* additional information

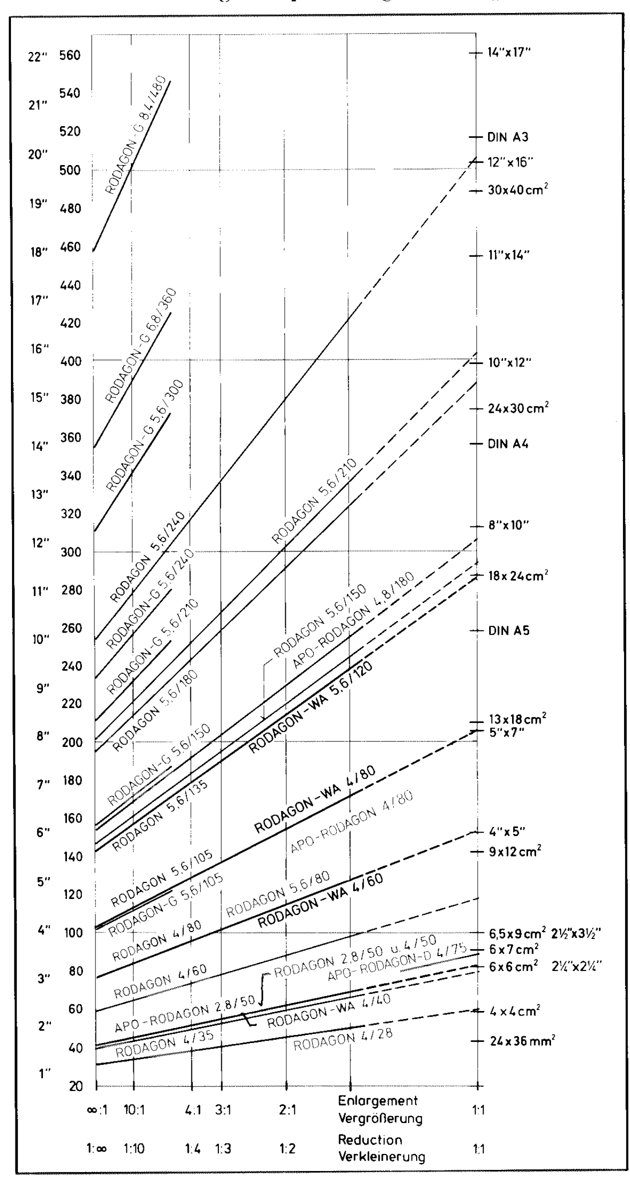
) mm (Rodagon)*



ation
nation

Rodagon WA

(Rodagon, Apo-Rodagon, Rodagon-G)*



* als Zusatzinformation
* additional information